



Lauri Lehtoaho

PÖYTÄSILMUKKA

PÖYTÄSILMUKKA

Lauri Lehtoaho
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Lauri Lehtoaho
Opinnäytetyön nimi: Pöytäsilmukka
Työn ohjaaja: Jussi Huikari
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013
Sivumäärä: 43 + 6 liitettä

Opinnäytetyössä tavoitteena oli suunnitella ja konseptoida pöytä- ja palvelusilmukkalaitteet Telesilmukka Oy:lle. Työssä tuli määrittää pöytäsilmukkaan tulevat liitännät ja laitteet sekä tutkia mahdollisia silmukkavaihtoehtoja. Tavoitteena oli saada laite, joka kykenee kaksinkertaiseen suorituskyykyyn toimeksiantajalta saatuihin referenssilaitteisiin nähden. Laitteen tuli sisältää liitännät ulkoisille mikrofoneille. Opinnäytetyön aihealueen opiskelu ja laitteen suunnittelu perustui kirja- ja internet lähteisiin sekä toimeksiantajan kanssa viikottain pidettyihin palavereihin.

Pöytäsilmukkaan valittiin liitännöiksi USB-audioliityntä, linja- ja mikrofonitulot sekä sisäinen mikrofoni. Pöytäsilmukan sisäiseksi laiteosiksi valittiin kaksi vaihtoehtoista päätevahvistinta, sisäisen mikrofoniin suuntauspiiri, USB-ohjain, esivahvistin ja latauspiiri. Työssä tutkituista silmukkavaihtoehtoista painettu silmukka ei painomateriaalin riittävän johtavuuden vuoksi vielä ole mahdollinen, mutta alan nopean kehittymisen myötä painetun silmukan käyttö tulevaisuudessa on mahdollista. Monisäikeinen johdotus on nykyhetken vaihtoehtoista toimivien lukuunottamatta tuotannollisuutta.

Opinnäytetyössä saavutettiin lähes kaikki työlle asetetut tavoitteet. Ainoastaan valmiiden evaluointilevyjen suorituskymmittaukset jäivät tekemättä, koska evaluointilevyt saapuivat liian myöhään luotettavien mittaustietojen saamiseksi opinnäytetyöhön. Opinnäytetyö antaa toimeksiantajalle lähtökohdat ja vaihtoehdot lopullisen tuotteen suunnitteluun.

Asiasanat: Pöytäsilmukka, palvelusilmukka, induktiosilmukka, kuulokoje.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Automation Engineering Degree Programme

Author: Lauri Lehtoaho
Title of thesis: Portable Induction Loop
Supervisor: Jussi Huikari
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013
Pages: 43 + 6 appendices

The thesis objective was to design and conceptualise a portable induction loop and service desk loop. The thesis was to determine connections and equipment of portable induction loop, as well as to research possible loop alternatives. The goal was to get a device that is able to double the performance of the reference devices given by the client. The device was to include connectors for external microphones. Both, the study of the thesis background and the design itself was based on book and internet sources, as well as with on weekly meetings with the client.

As connections of portable induction loop were selected USB-audio, line-in and microphone inputs and built-in microphone. For internal parts of the portable induction loop were selected two alternative power amplifiers, built-in microphone redirection circuitry, USB driver, pre-amplifier and charging circuit. In the thesis were studied possible loop alternatives for the portable induction loop, which multithreaded wiring is currently workable and printed loop is possibility in the future.

The thesis did not entirely reach all the goals of the work. Needed evaluation boards arrived too late to be tested in reliable performance measurements. This work gives to the client a starting point and options for the final product design.

Keywords: Portable induction loop, service desk loop, induction loop, hearing aid.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
MERKKIEN SELITYKSET	7
1 JOHDANTO	8
2 KUULO	9
2.1 Huonokuuloisuus	9
2.2 Tekniset apuvälineet	10
2.2.1 Kuulokoje	10
2.2.2 Äänensiirtojärjestelmät	11
2.2.3 Induktiosilmukka	11
3 VAHVISTIMET	12
3.1 Vahvistintekniikka ja signaalitasot	12
3.2 D-luokan vahvistin	13
3.3 H-luokan vahvistin	14
4 SÄHKÖMAGNEETTINEN INDUKTIO	15
5 LAITEVALINNAT JA -MÄÄRITYKSET	17
5.1 Päätevahvistimet	17
5.1.1 LM48580	17
5.1.2 LM48511	18
5.2 Lataus	19
5.3 USB-audioliitäntä	20
5.4 Sisäiset mikrofonit ja suuntauspiiri	22
5.5 Esivahvistin ja kompressointi	23
5.6 Askelvaimennus ja signaalien summaus	26
5.7 Jännitesovitus	28
5.8 Käyttöliittymä	29
6 SILMUKKAVAIHTOEHDOT	31
6.1 Painettu silmukka	32
6.2 Monisäikeinen johdotus	34

7 KONSEPTOINTI	35
7.1 Pöytäsilmut	35
7.2 Palvelusilmut	36
7.3 Kokoussilmut	37
8 POHDINTA	39
LÄHTEET	40
LIITTEET	43

MERKKIEN SELITYKSET

Θ	Magneettivuo, magnetismin määrää kuvaava suure
A/m	Magneettikentän voimakkuus
DAC	Digital to analog converter (DA-muunnin) on laite joka muuntaa digitaalisen signaalin analogiseksi.
dBu	Desibelimäärä suhteessa 0,775 volttiin riippumatta impedanssista
dBV	Desibelimäärä suhteessa 1 volttiin riippumatta impedanssista
FM	Frequency Modulation, taajuusmodulaatio, jossa tietoa välitetään liitettyinä kantoaallon taajuuteen
Li-Po	Litium-polymeeri, uutta akkuteknologiaa, jonka etu on keveys kapasiteettiin nähden.
Li-Ion	Litium-ioni, akkuteknologia
mAh	Akun kapasiteetti, milliampeeria tunnissa
PCM	Pulse Code Modulation, pulssikoodimodulaatio on menetelmä, jossa analoginen äänisignaali muunnetaan digitaalseksi.
RMS	Root mean square, tehollisarvo, joka tarkoittaa vaihtojännitteen tai vaihtovirran keskiarvoistamalla laskettua neliöllistä keskiarvoa.
USB	Universal serial bus, sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseen.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan pöytäsilmmukkalaitetta, jonka tarkoituksena on palvella huonokuuloisia heidän henkilökohtaisena äänensiirtojärjestelmänä. Työssä suunnitellaan samalla myös pöytäsilmmukan kaltaista palvelusilmmukkaa ja sivutaan hieman kokoussilmmukkaa. Puhuttaessa pöytäsilmmukasta, palvelusilmmukasta ja kokoussilmmukasta, kyse on saman induktiojärjestelmän soveltamisesta erilaisiin käyttötarkoituksiin. Työ ei ole valmis suunnitelma laitteesta, vaan se antaa toimeksiantajalle lähtökohdat ja vaihtoehtot laitteen lopulliselle suunnittelulle ja laitteen tuotannollistamiselle.

Työn toimeksiantajana on Telesilmmukka Oy, jonka tarkoituksena on tuotteistaa pöytä- ja palvelusilmmukka. Yritys on perustettu vuonna 1994 ja se keskittyy liiketoiminnassaan äänentoistotekniikkaan ja ennenkaikkea induktiivisiin äänentoistojärjestelmiin.

Työssä vertaillaan ja valitaan laitteen elektroniikkakomponentteja ja määritellään vaaditut liitännät. Lisäksi työssä tutustutaan erilaisiin silmmukkavaihtoehtoihin ja konseptoidaan laitteita. Työn lähtökohtana on tutustua kahteen saatuun referenssilaitteeseen, joiden pohjalta suunnittelutyötä tehdään. Tavoitteena on laite, joka kykenee antamaan kaksinkertaisen suorituskyvyn referenssilaitteisiin nähden.

2 KUULO

Kuulo on ihmisen kyky havainnoida ympäröivää ääntä. Ihmisen korvat toimivat yhdessä pään ja muun vartalon muodon kanssa äänen välittämiseksi aivoihin. Sisäkorva ja keskushermoston kuulojärjestelmä kehittyvät ja kypsyvät lapsesta aikuisikään asti edellyttäen, että korva saa ääniärsyksiä, vaikkakin korvan kuulosolujen rappeutuminen alkaa jo kymmenen ikävuoden jälkeen. (1.)

2.1 Huonokuuloisuus

Huonokuuloisten määrä kasvaa koko ajan kaikissa ikäluokissa.

Huonokuuloisten määrä kasvaa väestön ikääntyessä ja myös nuorten kuuloon kohdistuu uusia riskitekijöitä, kuten mp3-soittimet ja vapaa-ajan melu, joka ilmenee pahimmin konserteissa ja discoissa. Myös työperäiset meluvammat ovat yhä yleisiä. (2.)

Henkilö jolla on jonkinasteinen kuulonalenema lievästä huonokuuloisuudesta täydelliseen kuurouteen, kutsutaan yleiskäsitteellä kuulovammainen.

Huonokuuloiseksi määritellään henkilö, jolla kuulovamma on osittainen ja henkilö kykenee kommunikoimaan ja kuulemaan kuulokojeen ja huulilta luvun avulla. (3.)

Kuulovammaisista suurin ryhmä ovat huonokuuloiset, joiden kuulovamman asteesta riippuen ongelmat ja apuvälineiden tarve vaihtelevat suuresti. Kun kuulovamma on riittävän lievä, kykenee huonokuuloinen käyttämään kuuloaan jopa normaalikuuloisen tapaan sopivien apuvälineiden avulla. (4.)

Ihmistä, joka kykenee kuulemaan 10–20 dB:n tasoa, kutsutaan normaalikuuloiseksi ja jos puhekuulon kynnystaso on laskenut noin 30 dB, on kyseessä sosiaalisen kuulemisen raja. Puhekuulon kynnystason ollessa 30 dB, henkilöllä voi olla vaikeuksia seurata keskustelua saati osallistua siihen. 60–65 dB:n kuulotasoa kutsutaan puhekuulon rajaksi ja tällöin henkilö kykenee kuulemaan ja ymmärtämään puhetta noin metrin etäisyydeltä. Kuurouden raja on noin 85–90 dB:n tasolla. (3.)

Normaalkuuloiset ihmiset vaativat yleensä ymmärtääkseen 6 dB:n signaali-kohinasuhteen. Kyseessä on melko äänekäs taustamelu, joka voi olla kaikua, ilmanvaihdosta tulevaa ääntä ja muuta ympäristön melua. Menettäessään 80 % kuulostaan ihminen tarvitsee 15–20 dB:n signaali-kohinasuhteen. Tämä voi olla vaikeaa saavuttaa varsinkin tiloissa, joissa on voimakas taustamelu kuten yleensä yleisillä paikoilla. (5.)

2.2 Tekniset apuvälineet

Huonokuuloiset saavat apua teknisistä apuvälineistä, joiden avulla he kykenevät kuulemaan. Teknisiä apuvälineitä on paljon useisiin eri käyttötarkoituksiin, joista alla olevissa luvuissa on käyty läpi tähän työhön liittyvät apuvälineet.

2.2.1 Kuulokoje

Huonokuuloisten käyttöön tarkoitetut kuulokojeet ovat mukana pidettäviä vahvistinlaitteita, joiden tehtävänä on puheäänien vahvistaminen huonokuuloisen kuulon mukaan. Kuulokojetyyppejä ovat korvantauskoje, korvakäytäväkojeet, taskukuulokoje ja silmälasikuulokoje ja ne jaotellaan rakenteen ja kojeen kantotavan mukaan. Käytettävän kuulokojetyypin valinnan ratkaisevat huonokuuloisen henkilön toimintakyky, kuulovamman laatu ja käyttötarpeet. Kuulokojeen vahvistusominaisuudet säädetään aina käyttäjälle henkilökohtaisen kuulokyvyn mukaan. Kuulokojeiden perusosat ovat mikrofoni, vahvistinosa, säätimet, kuuloke, puhelinkela ja paristo. Kuulokojeessa puhelinkela on tärkeä osa, sillä se muuttaa magneettikenttäsignaalin sähköiseksi signaaliksi ja mahdollistaa induktiivisen kuuntelun. (4.)

Kuulokojeiden eri kuuntelutoimintoja ovat M-asento, T-asento ja MT-asento. M-asennossa kaikki ympäristön äänet tulevat mikrofoniin kautta kuulokojeen vahvistimeen, jossa se vahvistuu ennalta asetettujen säätöjen mukaan. T-asento mahdollistaa induktiivisen kuuntelun ja MT-asennossa on käytössä sekä mikrofoni että induktiivinen kuuntelu. (4.)

2.2.2 Äänensiirtojärjestelmät

Akustisena kuuluva ääni siirtyy ilman välityksellä kuulijan korvaan ja kuulemiseen vaikuttavat tällöin tilan akustiset ominaisuudet ja tilassa kuuluvat äänet. Ihminen kykenee kuulemaan kaiut, yleisen hälyn, melun, kolahdukset ja muut äänet samoin kuin puheäänenkin. Akustisesti huonossa tilassa puheäänen kuuleminen vaikeutuu normaalikuuloisellakin, jolloin apuvälineiden käyttö huonokuuloisella on ehdottoman tärkeää. (4.)

Äänensiirtojärjestelmissä haluttu äänisignaali ei siirry ilman välityksellä, vaan signaali siirtyy suoraan huonokuuloisen henkilön vastaanottimeen, kuten kuulokojeeseen. Tällöin akustiset häiriöäänet saadaan heikennettyä riippuen äänensiirtojärjestelmän toimivuudesta. Äänensiirtojärjestelmissä siirtotienä käytetään yleensä sähkömagneettista induktiota (induktiojärjestelmät), infrapunavaloa (IR-laitteet) tai radioaaltoja (FM-laitteet). Äänensiirtojärjestelmät sisältävät yleisesti lähettimen, vahvistimen ja vastaanottimen.

Äänensiirtojärjestelmiä voidaan yhdistää osaksi äänentoistojärjestelmiä ja niitä voidaan hyödyntää monissa erilaisissa sähkölaitteissa, kuten puhelin, televisio ja ovikello. (4.)

2.2.3 Induktiosilmukka

Induktiivisissa äänensiirtojärjestelmissä äänisignaali siirtyy induktiosilmukasta sähkömagneettisen kentän välityksellä. Induktiojärjestelmiin kuuluu silmukavahvistin, induktiosilmukka, vastaanotin ja äänilähde, joka voi olla esimerkiksi mikrofoni, televisio tai jokin muu äänentoistojärjestelmä.

Äänilähteestä ääni johdetaan silmukavahvistimeen, joka vahvistaa äänen silmukkajohtoon. Induktiosilmukka voidaan vetää halutun kuuntelualueen ympäri ja johdossa kulkeva sähkövirta synnyttää ympärilleen sähkömagneettisen kentän, josta kuulokojeen puhelinkela vastaanottaa äänisignaalin. Verrattaessa induktiojärjestelmää IR- ja FM-järjestelmiin, on induktiojärjestelmän etu siinä, että huonokuuloisten henkilökohtaiset kuulokojeet toimivat äänisignaalin vastaanottimina. (4.)

3 VAHVISTIMET

Tässä työssä käsitellään kahta eri vahvistintyyppiä, esivahvistinta ja päätevahvistinta ja päätevahvistimista kahta eri luokkaa, D-luokkaa ja H-luokkaa.

3.1 Vahvistintekniikka ja signaalitasot

Esivahvistimen tehtävänä on vahvistaa tarvittaessa heikkosignaalien lähteiden, kuten mikrofoniin signaalitasoa, jotta signaalitaso saadaan tarpeeksi voimakkaaksi päätevahvistimen ohjaamiseen. Tätä heikkoa signaalitasoa, jonka nimellistaso on 20 mV (-32 dBu), kutsutaan yleisesti mikrofinitasoksi.

Esivahvistimen vahvistamaa ulostulevaa signaalia kutsutaan linjatasoksi. Linjatasoisia lähteitä, joiden nimellistasot ovat välillä 0,245–1,228 V (-10 dBu – +4 dBu), ovat esimerkiksi CD-soitin ja tietokoneen äänikortilta tuleva linjataso, jotka eivät yleensä tarvitse esivahvistusta. (6.)

Esivahvistimelta lähtevän ja linjatasoisten lähteiden signaalien taso ja teho ovat vielä niin pieniä, ettei niillä sellaisenaan pystytä ohjaamaan kaiuttimia tai induktiosilmukkaa. Näiden signaalien vahvistamiseen tarvitaan päätevahvistin, joka vahvistaa linjatasoisen signaalin kaiuttimelle ja induktiosilmukalle sopivaksi ja syöttää näille riittävän tehon. Päätevahvistimelta lähtevää signaalitasoa kutsutaan kaiutintasoksi. (6.)

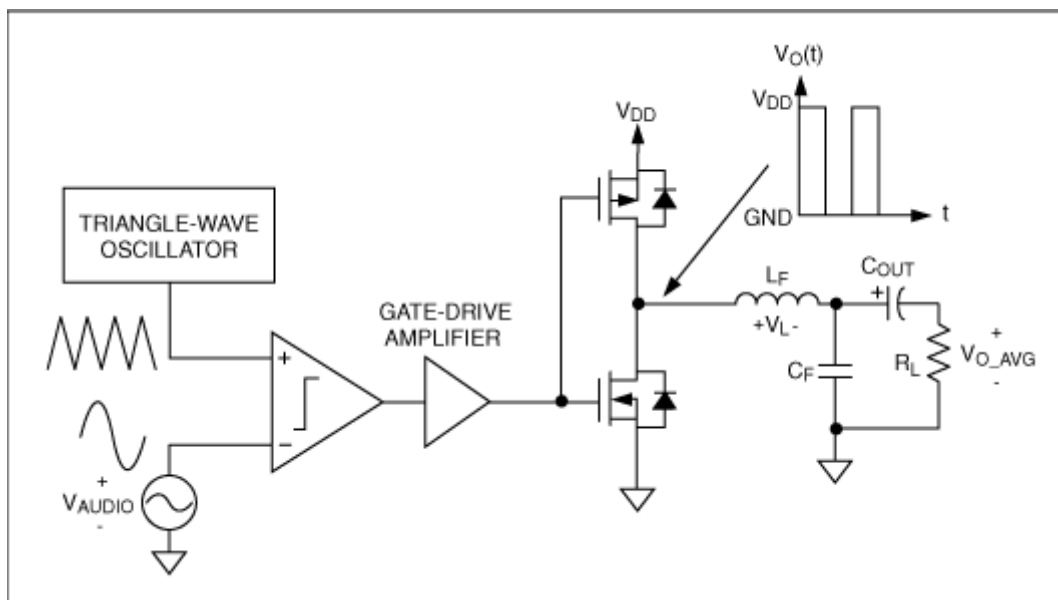
Päätevahvistimen rakenne koostuu kahdesta osasta, signaalitiestä ja virransyötöstä, jotka toimivat yhdessä. Signaalitiellä signaali kulkee päätevahvistimen tuloliitännästä ohjaamaan päätetransistoreja, joista signaali tulee vahvistettuna ulos ohjaamaan vahvistimen kuormaa. Virtalähde syöttää virtaa kuormaan päätetransistorien kautta tulosignaalin ohjaamana. (7.)

Toisaalta vahvistimien rakenne on kolmivaiheinen, jossa signaalitie koostuu ottoasteesta, ohjainasteesta ja antoasteesta. Esivahvistimelta signaali menee päätevahvistimen ottoasteeseen, jossa signaali sovitetaan ohjainasteelle sopivaksi ja ohjainaste vahvistaa signaalin riittäväksi ohjaamaan antoasteen

transistoreita. Antoaste vahvistaa signaalin ulostulolle sopivaksi ja syöttää sen ulostulon kuormaan. (7.)

3.2 D-luokan vahvistin

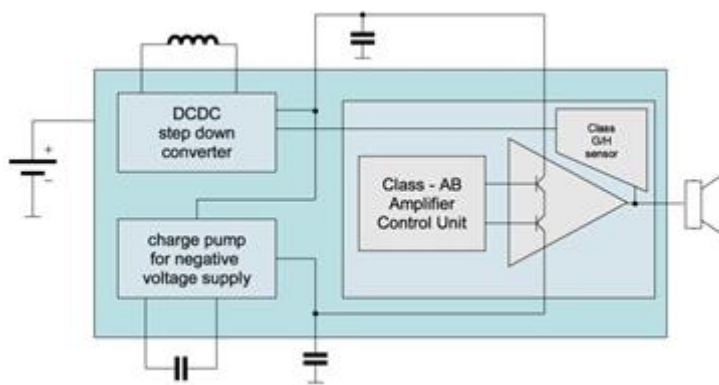
D-luokan päätevahvistimet perustuvat pulssimodulointiin, jossa päätevahvistimen transistorit toimivat kytkiminä. Tällöin vahvistimen lähtöaste on koko ajan joko täysin johtavassa tilassa tai täysin johtamattomassa tilassa. Analoginen tulosignaali muokataan pulssijonoksi kuvassa 1 näkyvän lohkokaaavion operaatiovahvistimen avulla. Operaatiovahvistimen invertoivaan tuloon syötetään äänisignaali jota verrataan ei-invertoivaan tuloon tulevalle saha-aallolla. Äänisignaalista ja saha-aallosta muodostuu siten pulssijono, jonka pulssisuhde on suoraan verrannollinen tulosignaalin amplitudiin. Pulssijonon taajuuden tulee olla moninkertainen verrattuna tulosignaaliin, jotta signaalista saadaan mahdollisimman tarkka suhteessa analogiseen tulosignaaliin. Päätevahvistimen transistorit vahvistavat pulssijonon ja se muokataan passiivisella alipäästösuodattimella analogiseksi signaaliksi ulostuloon. D-luokan päätevahvistimella voidaan saavuttaa parhaimmillaan jopa yli 90 %:n hyötysuhde. (7; 8; 9.)



KUVA 1 D-luokan vahvistimen toiminnallinen lohkokaavio

3.3 H-luokan vahvistin

H- ja G -luokan päätevahvistimet ovat kehittyneempiä versioita AB-luokan vahvistimesta ja H-luokan vahvistin on edelleen kehitetty versio G-luokan vahvistimesta. H-luokan päätevahvistimissa on älykäs päätevahvistinpiiri, jossa on sisäänrakennettu hakkuriteholähde, kuten kuvan 2 lohkokaaviossa. Pienillä signaalinvoimakkuuksilla se toimii tavallisena AB-luokan vahvistimena, mutta lisätehoa tarvittaessa päätevahvistimen hakkuriteholähde kytkeytyy päälle ja nostaa ulostulosignaalin jännitettä jännitehuipuille varatuilla omilla transistoreilla. Ne vahvistavat vain signaalihuippuja ja niihin on kytketty hakkuriteholähteeltä tuleva suurempi käyttöjännite. Verrattaessa AB-luokan vahvistimiin, on H-luokan vahvistimien tehohäviö noin 30% pienempi. (10; 11; 12.)



KUVA 2 H-luokan vahvistimen toiminnallinen lohkokaavio

4 SÄHKÖMAGNEETTINEN INDUKTIO

Sähkömagneettinen induktio on fysiikan ilmiö, jonka esittivät vuonna 1831 englantilainen Michael Faraday ja amerikkalainen Joseph Henry. Heidän kokeissaan ilmeni että magneettikenttä aiheuttaa suljetussa piirissä virran, jos johdinsilmukan läpi kulkeva magneettikenttä muuttuu ajallisesti tai silmukka ja magneettikenttä liikkuvat toisiinsa nähden. Kun käämin läpi kulkeva magneettivuo muuttuu, käämiin syntyy lähdejännitteen luonteinen induktiojännite. Induktiojännite saa aikaan suljetussa virtapiirissä induktiovirran, jonka suunta on Lenzin lain mukaan sellainen, että virran synnyttämä magneettikenttä pyrkii estämään magneettivuon Θ muuttumista. (13, s. 82.)

Faradayn induktiolain mukaan indusoitunut lähdejännite on suoraan verrannollinen magneettivuon muutosnopeuteen $d\Theta/dt$ ja käämin kierrosmäärään N , kaavan 1 mukaisesti: (13, s. 84.)

$$E = -N \frac{d\Theta}{dt}$$

KAAVA 1

missä

E sähkömotorinen voima (smv)

N kierrosten lukumäärä

$d\Theta$ magneettivuon muutos

Sinimuotoisesti vaihteleva jännite aiheuttaa käämiin sinimuotoisesti vaihtelevan virran. Käämin läpi kulkeva virta synnyttää ympärilleen sinimuotoisesti vaihtelevan magneettikentän ja magneettivuon. Tämä puolestaan aiheuttaa käämin sisälle sinimuotoisesti vaihtelevan vuon. Tämä vuo kehittää käämiin sinimuotoisesti vaihtelevan sähkömotorisen voiman. Induktanssin suuruus on verrannollinen käämin kierrosluvun toiseen potenssiin N^2 . Siten kierrosluvun kaksinkertaistaminen nelinkertaistaa induktanssin suuruuden. (14, s. 112 – 113.)

Silmukkajärjestelmästandardi IEC 60118 määrittää induktiosilmukoiden vaatimukset. Induktiosilmukoissa magneettikentän voimakkuuden yksikkönä on

A/m ja standardi määrittää kentänvoimakkuuden tasoksi 400 mA/m suhteellisen referenssitason ollessa 0 dB. Magneettikentän voimakkuutta induktiojärjestelmissä voidaan mitata kentänvoimakkuusmittarilla. (15.)

5 LAITEVALINNAT JA -MÄÄRITYKSET

Tässä luvussa käsitellään pöytäsilmukkaan tulevien laitteiden valinnat ja määritykset. Liitteessä 1 olevassa pöytäsilmukan lohkokaaviossa on nähtävissä kaikki siihen tulevat osat ja katkoviivalla ympyröidyt ovat vaihtoehtoiset päätevahvistimet.

Pöytäsilmukka on suunniteltu toimimaan Li-Po- tai Li-Ion-akulla, jonka nimellisjännite on 3,7 voltia. Pöytäsilmukan käyttötarpeisiin akun kapasiteetin tulee olla 300–800 mAh, riippuen lopullisesta kokonaisvirrankulutuksesta ja akun fyysisestä koosta lopulliseen tuotteeseen. Akun myötä laitteiden yhtenä tärkeänä valintakriteerinä on ollut niiden pieni virrankulutus. Pöytäsilmukan käyttäjäliitännöinä on USB-audio, USB-lataus, sisäinen mikrofoni ja 3,5 mm:n jakkiplugi.

5.1 Päätevahvistimet

Pöytäsilmukan päätevahvistin vaihtoehtoisiksi valittiin ennen kokoonpanon testausta D- ja H-luokan päätevahvistimet. Lisäksi varavaihtoehtona on kahdesta valitusta vaihtoehdosta tehokkaampi Texas Instrumentsin TPA3118D2 D-luokan päätevahvistin, joka kykenee antamaan sillattuna jopa 60 watin tehon, mutta vaatii suuremman käyttöjännitteen. TPA3118D2 sopii tehojen puolesta paremmin tässä työssä hieman sivuttavaa kokoussilmukkaa ajatellen, jossa tehoja vaaditaan enemmän.

Lopullinen valinta päätevahvistimesta voidaan tehdä vasta suorituskykymittauksien jälkeen, jolloin tiedetään vahvistimien todellinen antokyky halutulla käyttöjännitteellä ja kuormalla.

5.1.1 LM48580

Texas Instrumentsin LM48580 on H-luokan päätevahvistinpiiri, joka sisältää jännitemuuntimen signaalihuipuille ja sen myötä vahvistin voi saavuttaa akun tuottamalla 3,7 voltin käyttöjännitteellä jopa 30 voltin huipusta huippuun jännitteen ulostuloon. Vahvistimen pienin sallittu kuorma on oltava vähintään 8

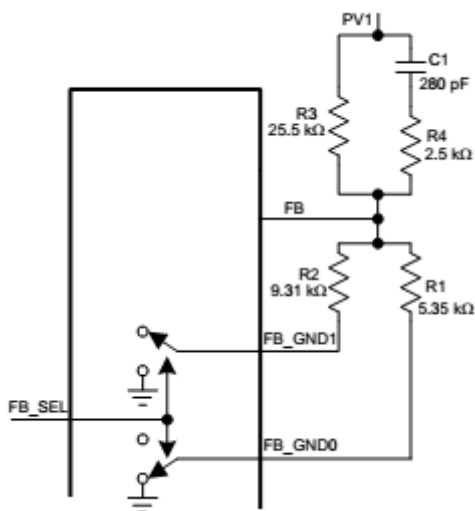
Ω , joka sulkee pois pieniresistanssiset silmukat, mutta vastaavasti taas isompia kuormia, kuten painettu silmukka, vahvistin kykenee kuormittamaan. (16.)

Liitteessä 2 on piirin pinnijärjestys ja tulojen ja lähtöjen selvitykset.

5.1.2 LM48511

LM48511 on Texas Instrumentsin valmistama täysin differentiaalinen D-luokan vahvistinpiiri, joka sisältää regulaattorin, jolla akun tuottama käyttöjännite saadaan vahvistimelle jopa kaksinkertaisena.

Regulaattorin vahvistimelle tuottama jännite muodostuu takaisinkytkennän vastusverkon vastusten arvoista. Piiriin on mahdollista asettaa kaksi ulkoista vastusverkkoa ja valinta näiden kahden väliltä tehdään FB_SEL -tulolla. Kuvassa 3 näkyvät vastusverkot ja niiden valinta, jolla saadaan haluttu regulaattorin ulostulojännite. Käytettäessä FB_GND0-vastusverkkoa saadaan paremmat kohinaominaisuudet, varsinkin korkeilla regulaattorin ulostulojännitteillä.



KUVA 3 LM48511 regulaattorin takaisinkytkentä

Regulaattorin ulostulojännite PV1 saadaan kaavalla 2 (17.)

$$PV1 = V_{FB} \left(1 + \frac{R3}{R_{LS}} \right)$$

KAAVA 2

missä

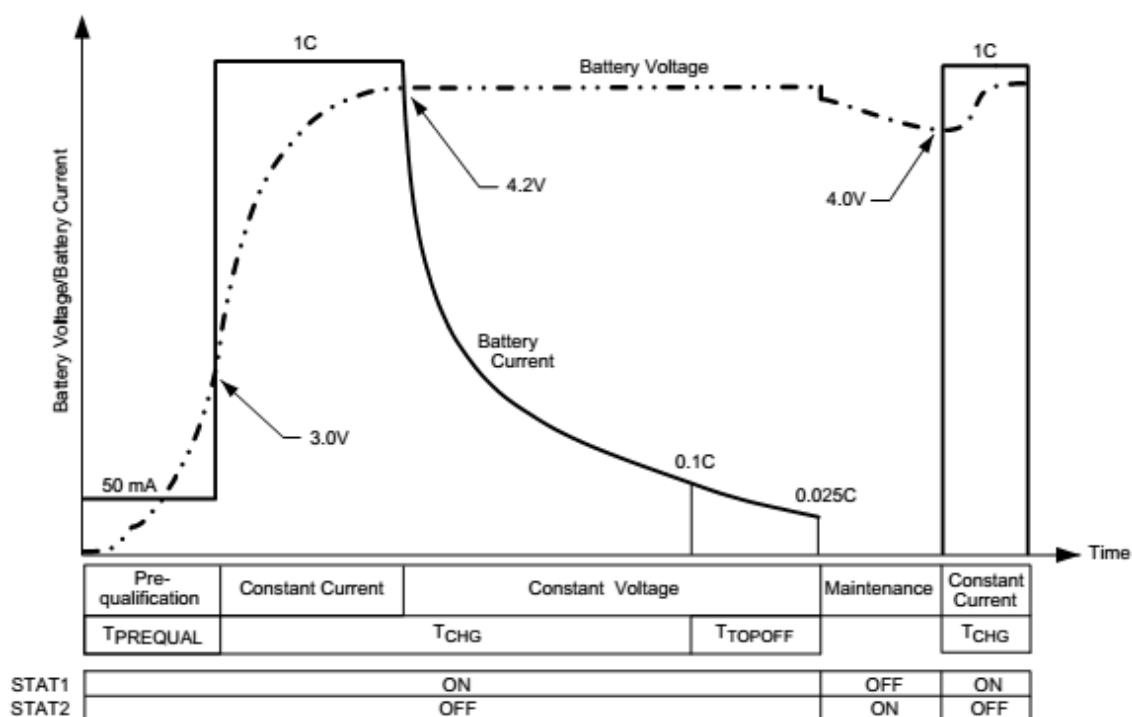
V_{FB} on takaisinkytkennän referenssijännite 1,23 voltia.

R_{LS} on vastusverkkojen alemman osan vastus R1 tai R2.

Liitteessä 3 on piirin pinnijärjestys ja piirin tulojen ja lähtöjen selvitykset.

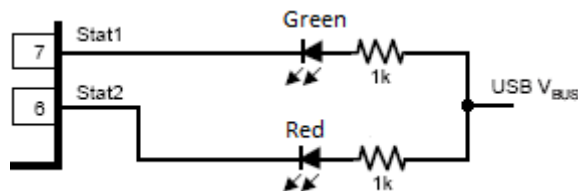
5.2 Lataus

Pöytäsilmutkaan tulevan akun lataukseen on valittu Texas Instrumentsin LM3658 latauspiiri. Piirillä on mahdollista ladata joko USB:lla tai AC-virtalähteellä yhden kennon Li-Po- ja Li-Ion- akkuja. Pöytäsilmutkaan valittiin microB-liitännällä oleva USB-lataus, koska se on muodostunut latausliitäntöjen standardiksi kannettavissa laitteissa kuten kännyköissä ja siten latureiden yleinen saatavuus laitteelle on hyvä. Kuten kuvan 4 kuvaaja osoittaa, latauksen alussa piiri syöttää akulle 50 mA virtaa, kunnes akun jännite nousee yli 3 voltin, minkä jälkeen lataus toimii täydellä latausvirralla. Latausvirta on valittavissa 100 mA tai 500 mA. Lataus jatkuu maksimilatausvirralla siihen asti, kunnes akun jännite on noussut 4,2 volttiin, joka on yhden kennon akkujen maksimijännite. Akun saavutettua maksimijännitteen, latausvirta laskee aluksi nopeasti ja lataus päättyy, kun latausvirta on laskenut 2,5 prosenttiin maksimi latausvirrasta. (18.)



KUVA 4 LM3658 latauspiirin toiminta

Latauspiirissä on lähdöt Stat1 ja Stat2, joihin voidaan kytkeä ledit ilmaisemaan piirin lataustilanteita. Kuvassa 5 näkyy piiriin kytkettynä lataustilanteen indikoivat ledit. Lataustilanteen ilmaisuun voidaan käyttää joko vihreää ja punaista lediä tai yksittäistä lediä, jossa on sekä punainen että vihreä led ja nämä yhdessä voivat tuottaa myös keltaisen valon.



KUVA 5 Lataustilanteen ledit

Taulukossa 1 on ilmaistu lähtöjen Stat1 ja Stat2 tila kussakin lataustilanteessa.

TAULUKKO 1 Latauksen tilanteet

Stat1	Stat2	Tilanne
OFF	OFF	Lataus keskeytynyt
ON	OFF	Lataus
OFF	ON	Lataus valmis
ON	ON	Viallinen akku

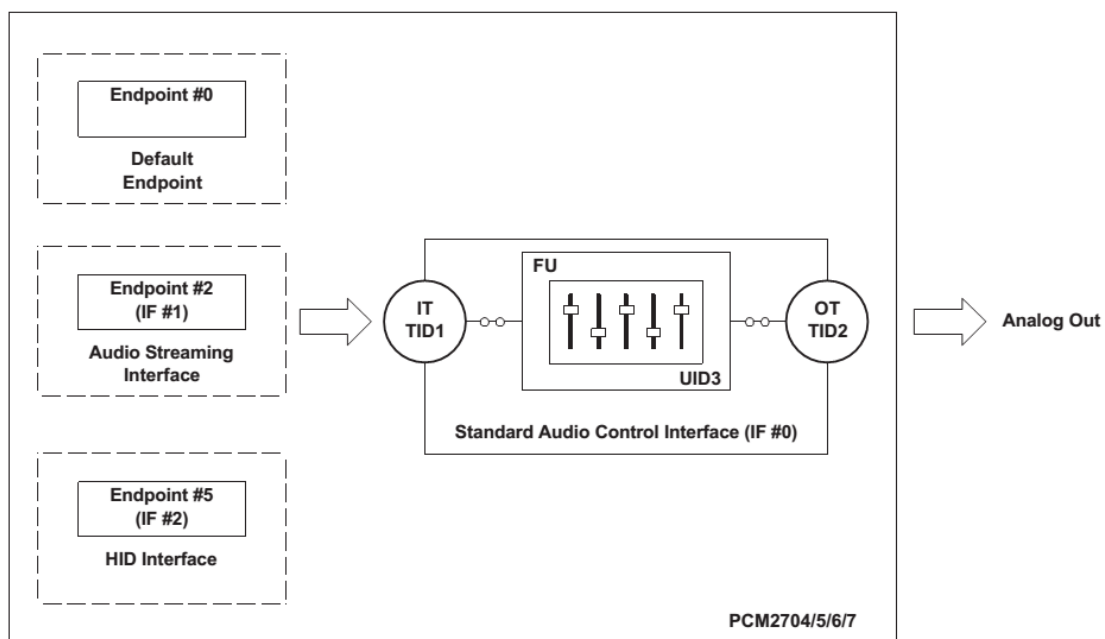
(18.)

Latauspiirin pinnijärjestys ja tulojen ja lähtöjen selvitykset on liitteessä 4.

5.3 USB-audioliitäntä

Alunperinkin suunnitelmissa oli tuoda pöytäsilmutkaan USB-audioliityntä. Tarkoituksena oli että laite kykenisi käyttämään langattomia ja langallisia USB-mikrofoneja. Tähän tarkoitukseen valittiin Texas Instrumentsin PCM2707-USB-ohjain, joka on USB-liitännällä oleva stereo DAC. Piiri on USB 1.1 -standardin täyttävä äänirajapinta ja siinä on 16 bitin resoluutiolla oleva D/A-muunnin, joka tukee 32 kHz:n, 44,1 kHz:n ja 48 kHz:n näytteenottotaajuuksia. Langattomien USB-mikrofonien käyttöön tämä ohjain ei kykene, sillä mikrofoni tulisi tukea USB audio class –määrittelyä, joka langallisista mikrofoneista usein löytyy.

PCM2707:ssa on kolme päätepistettä, jotka näkyvät kuvassa 6. Päätepiste 0 on oletuspäätepiste, jonka kautta hoituu kaikki konfigurointi. Päätepiste 2 on äänen suoratoistorajapinta ja sen tiedonsiirtotyyppi on isokroninen, joka on USB-spesifikaatiossa määriteltä reaalitajaiseen tiedonsiirtoon. Päätepiste 5 on varattu HID-toimintoihin, jotka ovat käyttäjän kontrolloitavissa olevia liityntöjä kuten esimerkiksi äänenvoimakkuuden säätäminen. Pöytäsilrukassa HID-toiminnot eivät ole käytössä. USB-ohjaimen äänikontrollerirajapinnassa on sisääntulo isokroniselle datalle eli äänelle, DA-muuntimen digitaalinen vaimennin ja analoginen ulostulo.



KUVA 6 PCM2707:n päätepisteet ja rajapinnat

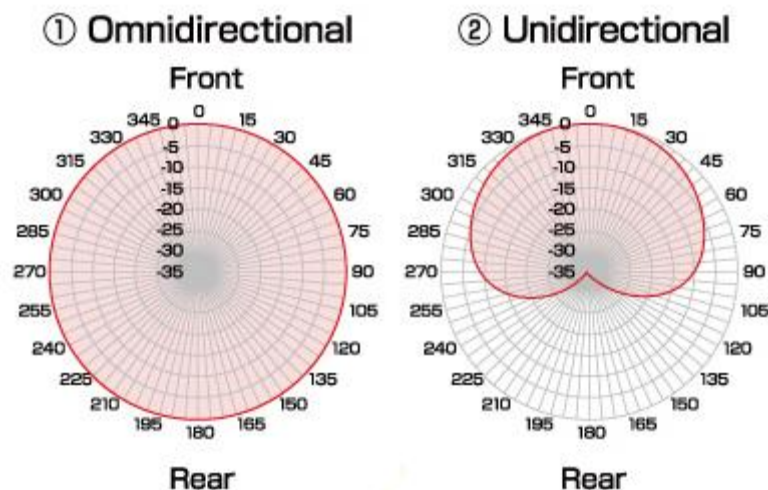
USB-ohjainta voidaan käyttää USB-liittimen kautta tulevalle käyttöjännitteellä (Bus-powered), joka saadaan kun liitetään USB-ohjain esimerkiksi tietokoneeseen. Lisäksi USB-ohjainta voidaan käyttää ulkoisella käyttöjännitteellä (Self-powered), jolloin käyttöjännite saadaan tässä tapauksessa akulta. Piirin sisäinen regulaattori muuntaa ulkoisen käyttöjännitteen piirin sisäisiin toimintoihin vaadittuun 3,3 volttiin. (19.) Liitteessä 5 on USB-ohjainpiirin pinnijärjestys ja käytössä olevien tulojen ja lähtöjen selvitys.

5.4 Sisäiset mikrofonit ja suuntauspiiri

Pöytäsilmukkaan todettiin tarpeelliseksi ulkoisen mikrofonin lisäksi sisäinen mikrofoni ja tälle mikrofoni suuntaus. Suuntaus on välttämätön, koska sillä estetään ympäröivän äänen pääseminen pöytäsilmukan käyttäjän kuulokojeeseen. Pieniä piirilevyille kytkettäviä mikrofoneja on vain ympärisäteilevänä, joten suuntaus täytyy tehdä erillisellä suuntauspiirillä. Suuntaukseen vaaditaan kaksi mikrofonia, joiden äänistä suuntauspiiri käsittelee uloslähtevän äänen.

Suuntauspiirejä oli saatavilla kehnosti ja oikeastaan ainoa saatavilla oleva piiri, jolla kunnon suuntaus voidaan saada aikaiseksi on ROHM Semiconductorin BU8332KV-M. Tämä piiri on vielä demovaiheessa, joten sen saatavuudesta ei vielä ole varmuutta. Tämän piirin huono puoli on sen virrankulutus, joka on suurimmillaan jopa 15 mA.

Suuntauspiiri muuntaa kuvassa 7 näkyvän mikrofonin suuntakuvion pallokuvioista (omnidirectional) suuntaavaan herttakuvioon (unidirectional).



KUVA 7 Suuntakuvio

Mikrofonit tulee olla 10 mm:n etäisyydellä toisiinsa ja suuntaus perustuu näihin kahteen mikrofoniin tulevien äänisignaalien väliseen aikaeroon. Suuntaus voidaan tehdä kahteen eri suuntaan ja suunta on valittavissa piiriltä. Mikrofonit tulee asettaa pöytäsilmukkaan siten, että suuntaus osoittaa suoraan puhujaa kohti, jotta puhujan ääni saadaan parhaalla mahdollisella tavalla hyödynnettyä.

Piiriltä saadaan myös mikrofoneille tarvittava esijännite (micbias). Esijännite piiriltä on tyypillisesti 2,5 voltia. Piirillä signaalien ulostuloina on linjaulostulo sekä digitaalinen PCM-ulostulo.

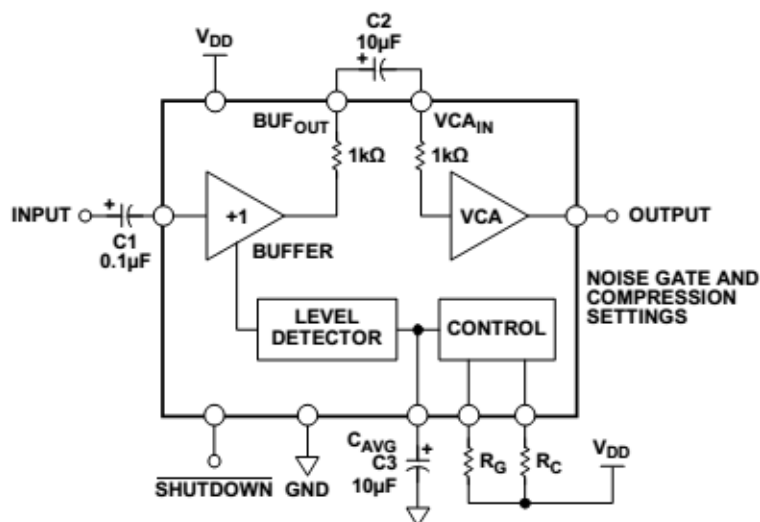
(20.)

5.5 Esivahvistin ja kompressointi

Esivahvistimena ja kompressiopiirinä on Analog Devicesin SSM2167. Piiri toimii esivahvistimena ja kompressoijana 3,5 mm:n jakkiliitännälle, sisäiselle mikrofonille ja USB-audiolle.

Vaihtoehtoisena esivahvistinpiirinä voi olla Analog Devices SSM2166, joka on hieman monipuolisempi, mutta vaatii vähintään 4,5 voltin käyttöjännitteen, jolloin pöytäsilrukkaan olisi täytynyt laittaa hakkuri, akun 3,7 voltin käyttöjännitteen vuoksi.

Kuvassa 8 on esivahvistimen toiminnallinen lohkokaavio, jossa audiosignaali menee ensin inputista jänniteseuraajaan (puskuri), josta se menee jänniteohjatulle vahvistimelle (VCA).

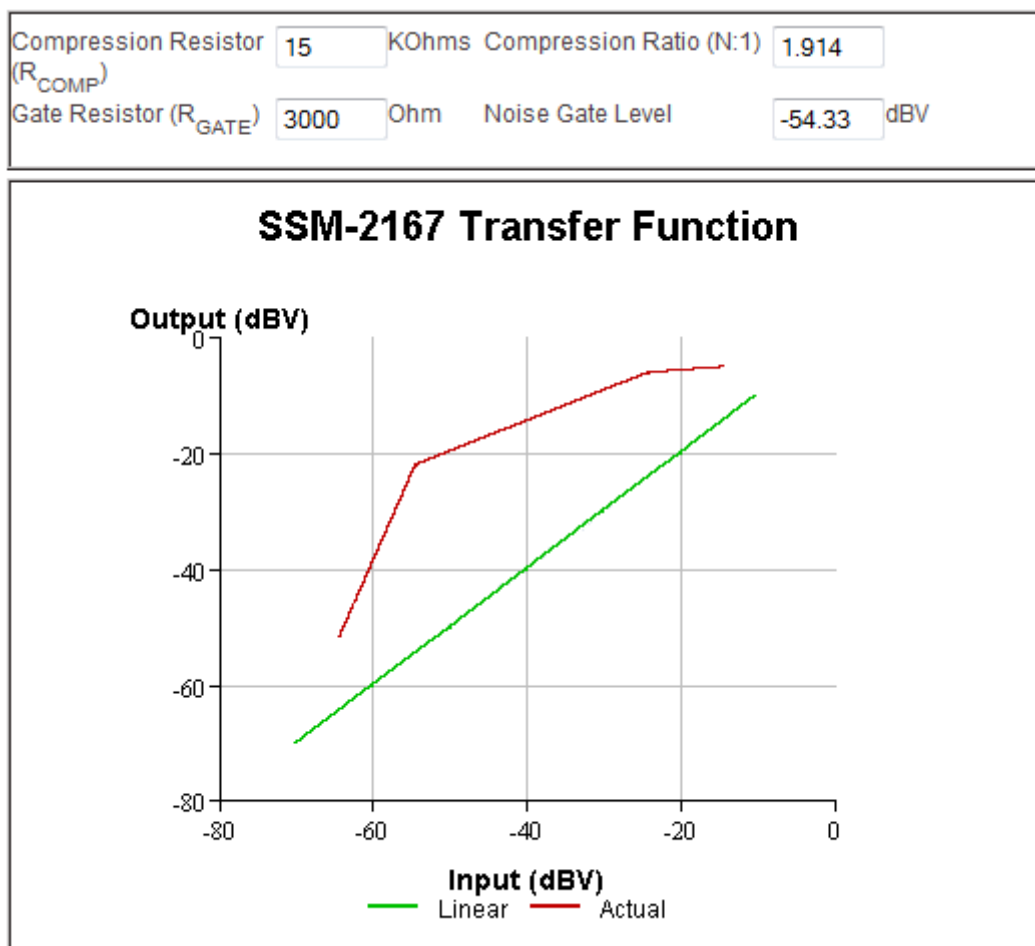


KUVA 8 SSM2167 toiminnallinen lohkokaavio

Puskurin suuren tuloimpedanssin (100 k Ω) ansiosta esivahvistin ei kuormita tulopuolta juurikaan ja lähtöimpedanssin ollessa pieni sitä voi kuormittaa huomattavasti enemmän kuin siihen tulevaa tuloa. VCA:n tuloimpedanssi on 1

k Ω ja se vahvistaa kondensaattori C2:n läpi tulevan virran ja muuntaa sen jännitteeksi ulostuloon. Vahvistus voi olla alemmilla signaalitasoilla jopa 40 dB, riippuen kompressointisuhteesta ja kohinaportin kynnystasosta. Lähtöimpedanssi esivahvistimelta on alle 145 Ω ja ulostulon kuorman tulee olla suurempi kuin 5 k Ω . (21.)

Muutettavat parametrit ovat kompressointisuhde ja kohinaportin kynnystaso. Kompressointisuhteeksi todettiin sopivaksi 2:1, joka on kuvan 9 punaisen käyrän taitekohtien välissä. Kohinaportin kynnystasoksi valittiin 2 millivoltia, jolloin signaalin ollessa sitä pienempi piiri ei päästä signaalia ulostuloon. Kohinaportin kynnystaso on kuvan 9 punaisen käyrän ensimmäisessä taitekohdassa. Limitoinnin kynnystaso on piirissä sisäisesti rajoitettu 63 millivolttiin, joka on kuvan 9 punaisen käyrän toisessa taitekohdassa. (21.)

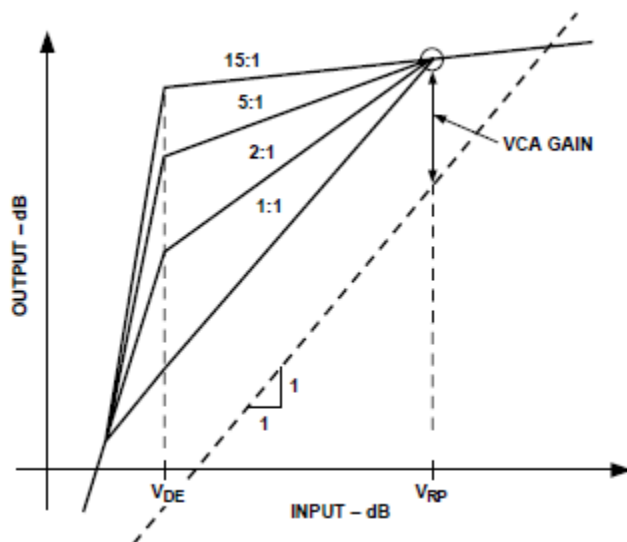


KUVA 9 SSM2167-piirin tulon ja lähdön siirtofunktio

Signaalitason ilmaisu käyttöliittymässä voidaan hoitaa piirin AVG CAP -lähdöllä, joka ilmaisee esivahvistimelta ulostulevan signaalin nimellistason (RMS).

Käyttöliittymään tuleva kolmitasoinen signaalitason osoitus saadaan esivahvistimelle tulevasta signaalista. Kun esivahvistimelle tuleva signaalitaso ylittää limitoinnin kynnystason 63 mV, on kyseessä leikkaantumistaso. Kun signaalitaso on kohinaportin kynnystason ja limitoinnin kynnystason välillä, on signaali halutulla tasolla. Kun signaalitaso laskee alle kohinaportin kynnystason, on signaalitaso alle halutun tason. Signaalitasoa voidaan säätää halutulle tasolle askelvaimentimella. (21.) Liitteessä 6 on piirin pinnijärjestys ja tulojen ja lähtöjen selvitykset.

SSM2167 esivahvistinpiiri kykenee myös voimakkuussuhteiden supistamiseen eli kompressointiin. Äänen hiljaiset kohdat voimistuvat ja voimakkaat hiljenee. Dynamiikan supistamisessa tärkein parametri on kompressiosuhde. Kompressointisuhteiden kuvaaja on kuvassa 10. Jos kompressointisuhde asetetaan hyvin suureksi, esimerkiksi äärettömän suhde yhteen ($\infty:1$), on kysymyksessä limitointi, koska tuloliitännässä tapahtuva signaalitason nousu ei aiheuta nousua lähtöliitännässä kynnystason yläpuolella. Jos suhde sen sijaan on 2:1, kuten pöytäsilmutukassa, kynnystason alapuolella 2 dB:n nousu sisääntulossa aiheuttaa 1 dB:n nousun ulostuloon. Tällöin dynamiikkaa supistetaan ja toiminta on kompressointia. Kynnystasolla estetään signaalin yliohjautumista. Jos kynnystasoa voidaan säätää, se asetetaan vastaamaan suurinta haluttua ulostulotasoa, jolloin tuloliitännästä sen yli tulevat signaalit rajoittuvat kynnystasoon. (6; 21.)



KUVA 10 SSM2167 Kompressointisuhteiden kuvaaja

5.6 Askelvaimennus ja signaalien summaus

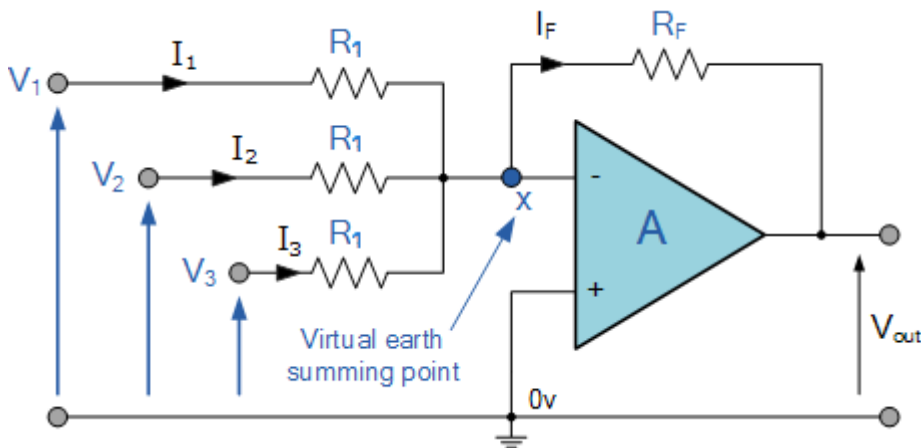
Äänenvoimakkuuden säädölle ei varsinaista tarvetta silmukkalaitteissa ole, sillä laitteen käyttäjä voi itse säätää kuulokojeesta äänenvoimakkuuden haluamalleen tasolle ja kompressointi tasaa äänenvoimakkuuden vaihteluja. Pöytäsilmukan liitäntöjen äänisignaalit eroavat kuitenkin huomattavasti toisistaan, kuten 3,5 mm:n tuloon tulevat linja- ja mikrofونitasot. Mikrofonitason jännite on tyypillisesti 0–20 mV, nimellistason ollessa 20 mV (-32 dBu), kun taas linjatasolla jännite on yleisesti 0–2 voltia. USB:n D/A-muuntimelta ja suuntauspiiriltä tulevat signaalien jännitetasot ovat korkeimmillaan 1,9 V. (6, s. 117; 19; 20.)

Koska signaalien tulotaso on huomattavan korkea suhteessa 3,5 mm:n tulon mikrofونitasoon ja esivahvistiinpiirin kynnystasoon, on signaalia vaimennettava ennen kompressointia, sillä muuten kompressointipiiri vain limitoi signaalin ja itse kompressointia ei tapahdu ollenkaan. Signaalin RMS-tason tulisi olla vaimennuksen jälkeen alle kompressiopiirin kynnystason. Koska tarvetta signaalin portaattomalle säädölle ei ole, on askelvaimennin vaihtoehtona potentiometriä parempi sen yksikertaisuuden vuoksi. Askelvaimennin on myös käytettävyyden kannalta pöytäsilmukassa parempi.

3,5 mm:n tuloon tarvitaan askelvaimennus, koska sieltä tulevan signaalin taso vaihtelee suuresti. USB:n ja sisäisen mikrofونin vaimennukseen riittää

kiinteävaimennus, koska signaalitasot ei vaihtelee suuresti. Kiinteävaimennus ja askelvaimennus tehdään signaalien summauksen yhteydessä summauskytkennässä.

Liitântöjen signaalit tulee summata ennen esivahvistus- ja kompressoointipiiriä. Signaalien summaus tehdään operaatiovahvistimella ja summaaaja kytkennällä, joka näkyy kuvassa 11.



KUVA 11 Signaalien summaus operaatiovahvistimella

Signaalitulo kytketään operaatiovahvistimen invertoivaan tuloon ja se kääntää vaiheen vastakkaiseksi, jolloin sisäänmeno- ja ulostulosignaalien välillä on 180 asteen vaihe-ero. Summauskytkentä perustuu kääntävään takaisinkytkentään ja sen avulla voidaan yhdistää usea tulo, kun jokaiseen tuloon laitetaan tunnettu vastus. Tulovastus on myös kytkettävän signaalin tuloimpedanssi. (22, s. 179–180.)

Invertoiva takaisinkytkentä mahdollistaa myös signaalien vaimentamisen, jolloin vahvistuksen on oltava pienempi kuin 1. Vahvistus- tai vaimennuskerroin saadaan kuvan 11 vastusten R_F ja R_1 suhteella ja ulostulojännitteen voi laskea kaavasta 2. (23.)

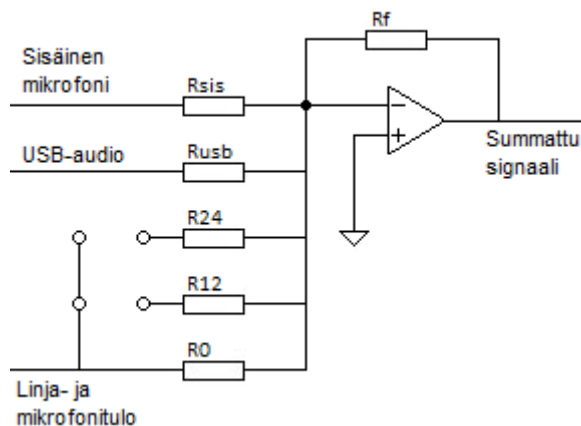
$$V_{OUT} = -R_F \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_1} + \frac{V_3}{R_1} \right)$$

KAAVA 2

Lähtökohtaisesti pöytäsilmukassa on kerrallaan käytössä vain yksi signaalilähde, jolloin signaaleja ei varsinaisesti summata toisiinsa vaan summaajan ulostulossa on kerrallaan vain yksi signaali. Summauskytkentä

tässä tapauksessa kuitenkin estää tuloja vaikuttamasta toisiinsa kun jokainen tulo terminoituu summauskytkennän virtuaaliseen maahan. (23.)

Kuvassa 12 on pöytäsilmaan signaalien summaus, askelvaimennus ja kiinteät vaimennukset. Käytettävät vastuskoot määräytyvät kytkentään tulevien signaalien lähtöimpedansseista. Sisäiselle mikrofonille ja USB-ohjaimelle todettiin sopivaksi vaimennukseksi -24 dB, jolloin 1 voltin signaali vaimentuu esivahvistimen limitoinnin kynnyistasolle 63 mV. Lopulliset vaimennukset selviävät mittauksien jälkeen, kun tiedetään vaimennukseen tulevat signaalitasot. Koska 3,5 mm:n tuloon voidaan laittaa useita erilaisia laitteita, joiden signaalitasot voivat vaihdella paljonkin, valittiin askelvaimennuksen tasoiksi -24 dB, -12 dB ja suora vaimentamaton taso 0 dB. Käytettäessä mikrofonia ei vaimennusta tarvitse ja linjatasoisen signaalin ollessa 1 voltin luokkaa, vaimennus täytyy olla -24 dB. Askelvaimennuksen taso valitaan 3-asentoisella kytkimellä.



KUVA 12 Askelvaimennus ja summauskytkentä

5.7 Jännitesovitus

Jotta jännite kykenisi siirtymään laitteesta toiseen mahdollisimman tehokkaasti, tarvitaan jännitesovitus. Jännitesovituksessa sovitusta tehdään laitteiden välisillä impedansseilla. Syöttävän laitteen lähtöimpedanssi Z_o pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi kuormitettavan laitteen tuloimpedanssiin eli kuormitusimpedanssiin Z_i verrattuna. Impedanssien suhdetta Z_i/Z_o kutsutaan vaimennuskertoimeksi (Damping Factor = DF). Päätevahvistimille useimmiten ilmoitetaan pienin sallittu kuormitusimpedanssi, joka on huomattavasti suurempi

kuin sen lähtöimpedanssi, tyypillisesti 100-kertainen, jolloin vaimennuskerroinkin on 100. Vaimennuskerroin on myös tärkeä tekijä mikrofonin ja sen esivahvistimen sovituksessa, koska se vaikuttaa mikrofonin taajuusvasteeseen. (6.)

Jännitesovitus on otettava huomioon valittaessa vaimennukseen tulevia vastuksia. Vaimennuskertoimen tulisi olla vähintään 6, jolloin vaimennuksessa tuloimpedanssin tulee olla vähintään 6-kertainen vaimennukseen tulevan signaalin lähtöimpedanssiin nähden. Summauskytkennän vaimennuksessa tuloimpedanssit määräytyy askelvaimennuksen vaimentamattoman kytkennän tuloimpedanssin mukaan. Kun mikrofonin lähtöimpedanssi on korkeimmillaan 2 k Ω , täytyy askelvaimennuksen vaimentamattoman kytkennän tuloimpedanssi olla vaimennuskertoimella 6 vähintään 12 k Ω . Taulukossa 2 on summauskytkennän vastusten määrittely ja taulukossa olevat tulovastukset näkyvät kuvassa 12. Suuntauspiirin ja USB-ohjaimen lähtöimpedansseja ei datalehdissä ole määritetty, mutta molempien lähtöjen kuormat on oltava vähintään 10 k Ω . (19; 20.)

TAULUKKO 2 Jännitesovitus

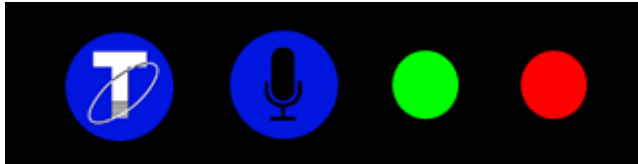
Tulo	Lähtöimpedanssi	Tulovastukset	Tuloimpedanssi	R _f	Vaimennus
Sis. mikrofoni	Ei tiedossa	R _{sis}	190 k Ω	12 k Ω	24dB
USB-audio	Ei tiedossa	R _{usb}	190 k Ω	12 k Ω	24dB
3,5 mm:n jakkiplugi	600 – 2000 Ω	R ₂₄	180 k Ω	12 k Ω	24dB
3,5 mm:n jakkiplugi	600 – 2000 Ω	R ₁₂	35 k Ω	12 k Ω	12dB
3,5 mm:n jakkiplugi	600 – 2000 Ω	R ₀	12 k Ω	12 k Ω	0dB

5.8 Käyttöliittymä

Pöytäsilmukan käyttäjälle näkyvästä käyttöliittymästä pyritään tekemään mahdollisimman yksinkertainen, jotta käyttäjä säästyisi laitteen säätämiseltä ja näin laite on helppo ja nopea käytettävä.

Itse käyttöliittymä voisi koostua kahdesta taustavalaistusta painikkeesta ja kahdesta ledistä. Kuvassa 13 näkyvässä käyttöliittymä hahmotelmassa T-

logolla varustettu painike on pöytäsilmaan käynnistys- ja sammutuspainike. Painike, jossa on mikrofoni-logo, on sisäisen mikrofoniin on/off -painike. Ledit ovat latauksen merkkivalo ja signaalitason merkkivalo.



KUVA 13 Käyttöliittymä hahmotelma

6 SILMUKKAVAIHTOEHDOT

Pöytäsilmukkaan tuleva induktiosilmukka on mahdollista tehdä usealla eri tavalla. Tässä työssä on keskitytty kahteen vaihtoehtoon, painettuun silmukkaan ja monisäikeiseen johdotukseen. Kuvassa 14 olevan referenssilaitteen silmukka on tehty tavallisesta ohuesta kuparikaapelista, joka on kierretty 20 kierrokselle. Pöytäsilmukkaan tulevan silmukan vaatimuksena on 3–8 Ω resistanssi, jonka suuruus riippuu päätevahvistimen minikuormasta. Lisäksi vaatimuksina ovat silmukan taivutuksensieto ja tuotannollisuus.



KUVA 14 Referenssilaitte

Induktiosilmukan muoto ja kierrosmäärä riippuvat silmukan käyttötarkoituksesta ja sen myötä magneettikentän voimakkuudesta ja siitä, miten magneettikenttä suuntautuu. Työssä oli tarkoitus simuloida pöytäsilmukkaan tulevaa induktiosilmukkaa, mutta työhön sopivaa simulointiohjelmaa ei saatu käyttöön. Magneettikentän simuloinnista on toimeksiantajalla menossa kokonaan erillinen opinnäytetyö ja sen myötä myöhemmin silmukan simulointi tullaan tekemään. Simuloinnin avulla voidaan määrittää oikeanlainen induktiosilmukka, jolloin

magneettikentän voimakkuus ja suuntaus sekä kuulokojeeseen että tilaan nähden ovat haluttuun käyttötarkoitukseen sopivat.

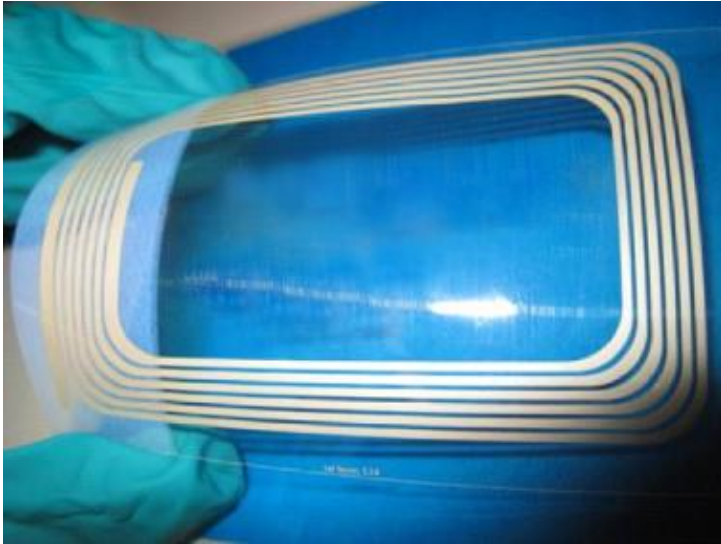
6.1 Painettu silmukka

Painettu elektroniikka tarkoittaa menetelmiä, joilla tuotetaan tulostaen ja painaen elektronisia laitteita ja painettu silmukka tarkoittaa induktiosilmukkaa, joka on tehty painetun elektroniikan menetelmillä. Painomenetelmiä ovat mekaaniset ja digitaaliset painomenetelmät. (24.)

Painetun elektroniikan etuja ovat sen tuotannon nopeus, jolloin valmistuskustannukset ovat pienet, mahdollisuus suurten pinta-alojen sovelluksiin rullalta rullalle painomenetelmässä ja monimuotoiset erikäyttötarkoituksiin soveltuvat alustat, joihin elektroniikka painetaan. (24.)

Haasteita painetussa elektroniikassa on vielä paljon, sillä ala on sen verran uusi. Standardeja ja suunnittelusääntöjä vasta kehitetään ja painoprosesseihin, materiaaleihin ja yhteensopivuuksiin kuuluvia asioita täytyy suunnittelussa ottaa huomioon. (24.)

Painetun elektroniikan painoalustamateriaalina käytetään yleisesti muovia, sillä se kestää parhaiten painetun elektroniikan vaatimukset. Materiaalin pitää kestää hyvin kosteutta ja lämpöä ja sen tulee olla riittävän kestävä ja sovelluksesta riippuen taipuisaa. Materiaalin tulisi olla myös riittävän edullista, jotta massatuotanto olisi kannattavaa. Kuvassa 15 esimerkki taipuisasta painetusta elektroniikasta. (25.)



KUVA 15 Painettu elektroniikka

Painetun elektroniikan painoalustana yleisimmin käytetty materiaali on polyeteenitereftalaatti (PET) eli polyesteri edullisuutensa vuoksi. Lisäksi yleisesti käytetään myös polyeteeninaftalaattia (PEN), polyimidiä (PI), polykarbonaattia (PC) ja nestekidepolymeeria (LCP). PI:llä on hyvä lämmönkesto kylmissä ja kuumissa olosuhteissa ja se kykenee taipumaan myös kylmässä. PI on kallis materiaali verrattuna PET:iin, joka ei kestä lämpöä yhtä hyvin. PEN on hinnaltaan ja ominaisuuksiltaan kompromissi PI:n ja PET:n väliltä. LCP:lla on hyvät sähköiset ominaisuudet, alhainen kosteuden imukyky ja hyvä taivutuksensieto. (26; 27.)

Mekaanisilla painomenetelmillä on mahdollista painaa myös päällystetyille kartongeille, pahveille ja lasilevyille. Nämä materiaalit soveltuvat painetun elektroniikan sovelluksiin, joissa taivutuksensieto ei ole välttämätöntä. Nämä materiaalit mahdollistaisivat painetun silmukan integroimisen rakenteisiin. (25.)

Kun painetun materiaalin resistanssi halutaan hyvin pieneksi, käytetään painamisessa mahdollisimman hyvin sähköä johtavaa materiaalia. Painoteollisuudessa eniten käytetty johtimien painomateriaali on hopeapasta sen hyvän virranjohtokyvyn vuoksi. Johdinmateriaalina on myös mahdollista käyttää kuparipohjaisia musteita. Painetun elektroniikan painoalustan ja painomusteen materiaalit kestävät hyvin tehoa ja sen aiheuttamia lämpötilamuutoksia. Tehonkestoon vaikuttavat painettavan sovelluksen pituus ja poikkipinta-ala, kuten perinteisessäkin elektroniikassa. (28.)

Painettujen johtimien ominaisuuksien määrittely -opinnäytetyössä tehtyjen painettujen johtimien mittauksien pohjalta voidaan määritellä painetun elektroniikan soveltuvuutta painettuun silmukkaan. Työssä mitattujen johtimien pituus oli 93,9893 millimetriä ja leveys 0,9863 millimetriä ja johdinaineena käytettiin hopeapastaa. Painamisen jälkeen johtimet kalanteroitiin, jossa johtimet tiivistettiin paineen ja lämmön avulla, mikä parantaa johtimien rakennetta. Mitattuja johtimia oli 32, joiden keskiarvoresistanssi kalanteroinnin jälkeen vaakatasossa oli 7,6 Ω . (28.)

Tehdyt mittauksen osoittavat, että painetun silmukan toteutus on vielä aikaansa edellä, sillä noin 10 cm johtimen resistanssi on samaa luokkaa kuin mitä koko painetussa silmukassa saisi olla, jotta päätevahvistin kykenisi sitä optimaalisesti kuormittamaan. Painettu elektroniikka kuitenkin kehittyy valtavaa vauhtia ja tulevaisuudessa varmasti painettu silmukka on mahdollista toteuttaa.

6.2 Monisäikeinen johdotus

Monisäikeinen johdotus on yksi vaihtoehto pöytäsilman induktiosilman materiaaliksi, jota myös referenssilaitteissa käytettiin. Johdotuksella on mahdollista saada silmukkaan hyvinkin pienet resistanssit, riippuen johtimen pinta-alasta. Referenssilaitteissa käytetty johdin on toisessa kierretty 20 kierrokselle, jolloin resistanssi oli noin 10 Ω ja toisessa kahdella johtimella 14 kierrokselle, jossa resistanssi oli 3,6 Ω . Näiden resistanssierot johtuvat johtimen poikkipinta-aloista..

Resistanssiin vaikuttaa johtimen pituus ja sen poikkipinta-ala. Mitä pidempi ja ohuempi johdin on, sitä suurempi on johtimen resistanssi. Johdotuksessa silman resistanssi saadaan halutulle tasolle johtimen poikkipinta-alaa ja pituutta muuttaen ja johdotus kestää myös hyvin taivutusta. Painetun silman hyvä puoli suhteessa johdotukseen on sen tuotannollisuus, joka on nopeaa ja edullista.

7 KONSEPTOINTI

Tuotekonseptoinnin tarkoituksena yleensä on tuottaa tuotehahmotelma, jota ei suoraan viedä markkinoille, vaan tuotehahmotelman avulla voidaan tutkia tuotteen mahdollisuuksia ja tehdä tuotteesta päätöksiä. Tuotekonseptoinnissa tutkitaan millainen tuotteen tulisi olla esimerkiksi käyttäjätarpeiden tai teknologiamahdollisuuksien näkökulmasta. Konseptoinnin taustalla on tyypillisesti käyttäjä- ja markkinatutkimus, teknologiaselvityksiä tai trendianalyysi. Tuotekonseptointi auttaa siirtymistä suorittavaan tuotekehitysvaiheeseen ja tuotannollistamiseen. (29.)

Tuotekonsepti sisältää yleensä tietoa tuotteen toiminnasta, kohderyhmästä ja käytetystä teknologiasta. Osa tuotekonsepteista voidaan tehdä jopa tuotantovalmiiksi asti, kun taas osa voi olla pelkkiä tutkielmia, joita yritykset voivat hyödyntää. (30.)

7.1 Pöytäsilmut

Pöytäsilmut tarkoituksena on olla pienikokoinen, helposti mukana kulkeva induktiosilmut, joka palvelee huonokuuloisten tarpeita. Se voi toimia integroituna erilaisten tablet-laitteiden suojakoteloon ja tukea samalla suojakotelossa olevan laitteen äänilähtöjä toimien laitteen induktiovahvistimena.

Taitettavassa suojakotelossa induktiosilmut voi olla koko alueen kattava, jolloin silmut tulisi kestää 180 asteen taivutus. Induktiosilmut voi olla myös vain puolikkaalla alueella, jolloin silmut ei tarvitse kestää jyrkkää taivutusta, jos suojakotelon materiaali on riittävän jäykkä. Kuvassa 16 on hahmotelma mahdollisesta pöytäsilmutasta tablet-laitteen suojakotelossa. Kuvan 16 punainen katkoviiva on silmut suojakotelon kannessa ja pienempi mustalla rajattu alue sisältää kovan elektroniikkamoduulin käyttöliittymän kera.



KUVA 16 Hahmotelma pöytäsil mukasta tablet-suojakotelossa

7.2 Palvelusilmukka

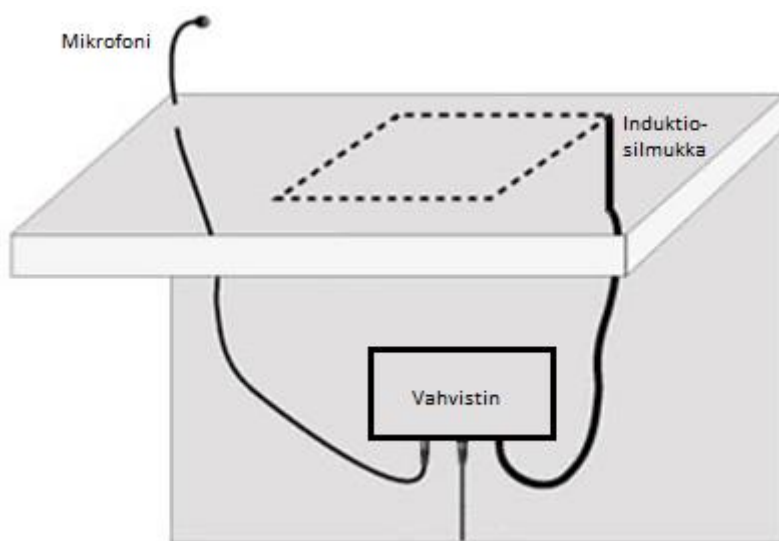
Palvelusilmukka on pöytäsil mukun kaltainen induktiojärjestelmä, joka on suunniteltu erityisesti palvelupisteisiin. Huonokuuloisen kuulemista palvelutilanteissa haittaavat ympäristön meluisuus, taustääänet ja joissakin tapauksissa asiakkaan ja virkailijan väliin asetettu lasi. Virkailijan puhuessa palvelusilmukan mikrofoniin, huonokuuloinen kuulee puheen kuulokojeensa kautta induktiivisesti, jolloin taustääänet eivät häiritse kuulemista. (3.)

Palvelusilmukka koostuu silmukkavahvistimesta, induktiosilmukasta ja mikrofonista. Silmukka kiinnitetään esimerkiksi asiakaspalvelutiskin alapintaan.

Mikrofoni sijoitetaan palvelutiskistä riippuen sopivaan paikkaan virkailijan lähelle. Puhe välittyy mikrofonin kautta vahvistimelle ja siitä induktiosilmukan kautta induktiivisesti kuulokojeeseen, joka täytyy olla T-asennossa. (3.)

Palvelusilmukka on komponenttien osalta karsittu versio pöytäsilmukasta. Palvelusilmukan on tarkoitus toimia kiinteällä verkkovirralla, jolloin akkua ei tarvita. Palvelusilmukassa on sama sisäinen suuntaava mikrofoni kuin pöytäsilmukassa sekä 3,5 mm:n liitäntä ulkoiselle mikrofonille. Koska palvelusilmukassa ei ole tarvetta eri tilanteisiin erilaisia ulkoisia mikrofoneja, kuten pöytäsilmukassa, ei USB-liitännälle ole tarvetta.

Palvelusilmukka on palvelupisteisiin sijoitettava joko irrallinen kirjoitusalueeseen integroitu induktiosilmukka tai esimerkiksi pöytään integroitu kiinteä induktiosilmukka. Laitteen kovan elektroniikkamoduulin paksuus tuo haasteita kirjoitusalueen vaihtoehdolle. Kuvassa 17 on hahmotelma integroidusta palvelusilmukasta.

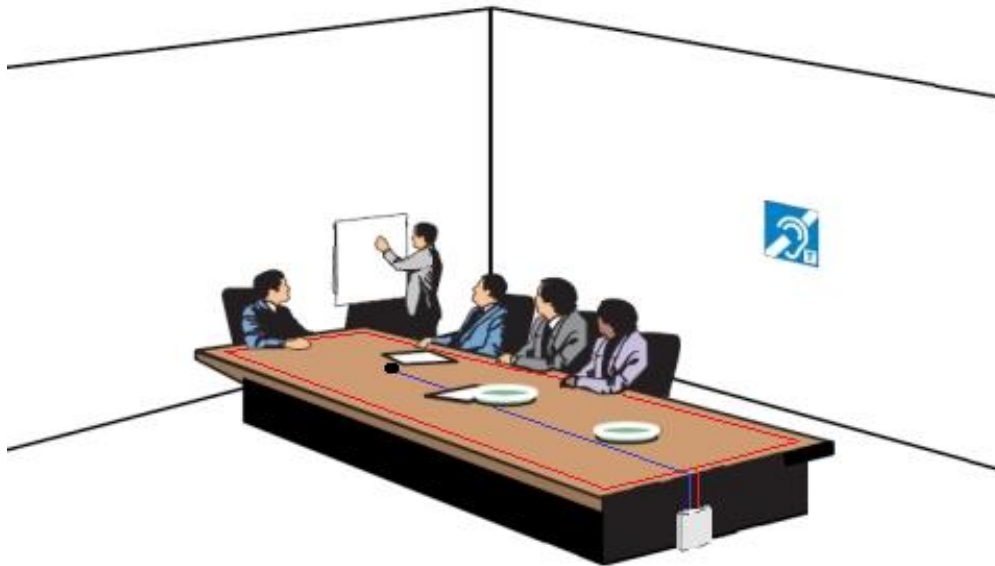


KUVA 17 Palvelusilmukka

7.3 Kokoussilmukka

Kokoussilmukka on pöydän alle sijoitettava silmukka, joka vaatii tehokkaamman pääteasteen (TPA3118D2). Se saa tarvittavan käyttöjännitteen palvelusilmukan tavoin muuntajan kautta verkkovirrasta.

Kokoussilmukan induktiosilmukka voisi olla kokoon taitettava, helppo ja nopea asennettava, jolloin sen käyttö ei hidastaisi kokouksien alkamista ja sitä voisi käyttää lyhyemmissäkin tapaamisissa. Induktiosilmukka kiertää koko pöydän, jolloin kuulokojetta käyttävä voi istua missä päin pöytää tahansa. Pöydän mukaan induktiosilmukan voi asentaa sen alle tai päälle. Mikrofonin valinta kokoussilmukka käytössä on tärkeää, sillä pöydän ääressä voi olla paljonkin henkilöitä ja kaikkien äänet tulisi kuulua riittävästi kuulokojetta käyttävälle induktiosilmukan kautta. Yksi hyvä vaihtoehto on ympärisäteilevä ketjutettava mikrofoni, jossa useamman mikrofonin voi liittää toisiinsa. Kuvassa 18 on hahmotelma kokoussilmukan käyttötilanteesta.



KUVA 18 Kokoussilmukka

8 POHDINTA

Kuulon alentumien lisääntymisen myötä myös kuulon apuvälineiden tarve kasvaa ja lisäksi apuvälineitä voitaisiin hyödyntää nykyistä paremmin ja monipuolisemmin eri tilanteissa. Tässä työssä käsiteltyjen laitteiden käyttöön otto lisäisi ja parantaisi huonokuuloisten kommunikointimahdollisuuksia.

Työn tavoitteena oli konseptoida ja suunnitella pöytäsilmut mikrofoniliitännöillä ja löytää vaihtoehtoinen pääteaste parempaa suorituskykyä tavoitellen. Vaadittavat liitännät ja laiteosat saatiin kasattua kokonaisuudeksi, jonka pohjalta lopullinen laitesuunnittelu voidaan tehdä. Konseptoinnissa on hahmoteltu silmukkaratkaisuja ja niiden käyttökohteita. Painettu silmukka tulee olemaan tulevaisuudessa todella hyvä ratkaisu pöytäsilmutta, kunhan tekniikka sen osalta vielä kehittyy. Vahvimpana ratkaisuna pöytäsilmut tämän hetken silmukaksi on monisäikeinen johdotus, jonka resistanssi saadaan halutuksi ja ainoaksi heikkoudeksi jää sen tuotannollisuusmahdollisuudet.

Työn tekeminen oli vaikeaa ajankäytön ja ennestään tuntemattoman aihealueen vuoksi. Työ vaati todella paljon opiskelua ja uuden oppimista, mikä on aina hyödyllistä ja tarpeellista, mutta toisaalta vei jopa liikaa aikaa itse opinnäytetyön tekemisestä. Opinnäytetyöhön käyttämäni aika oli liian rajallista, varsinkin työn loppuvaiheessa, jolloin evaluointilevyt saapuivat. Opinnäytetyön valmistumisen ajankohtaa ei voinut enää siirtää opinto-oikeuden loppumisen vuoksi. Tästä syystä päätevahvistimien suorituskykymittaukset jäivät opinnäytetyön ulkopuolelle.

LÄHTEET

1. Kuulo. Kuuloliitto ry. Saatavissa: <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/>.
Hakupäivä 4.6.2013.
2. Huonokuuloisuus. Kuuloliitto ry. Saatavissa:
<http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/huonokuuloisuus/>. Hakupäivä 4.6.2013.
3. Erilaiset kuulovammat. Kuuloliitto ry. Saatavissa:
http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/huonokuuloisuus/erilaiset_kuulovammat/.
Hakupäivä 4.6.2013.
4. Kaiken kuuloisille. 2009. Kuuloliitto ry. Saatavissa:
http://www.kuuloliitto.fi/document.php?DOC_ID=62&SEC=6254bfbe411a816bb011cd7d1b1473a3&SID=1#kaiken_kuuloisille.pdf. Hakupäivä 4.6.2013.
5. How do induction loops helps?. Ampetronic ltd. Saatavissa:
<http://www.ampetronic.com/How-do-loops-help>. Hakupäivä 4.6.2013.
6. Blomberg, Esa – Lepoluoto, Ari, 1993. Audiokirja. Toinen tarkistettu painos.
Tapiolan viestintäsuunnittelu OY.
7. Vahvistin.1997-2005. Hifiopas. Saatavissa:
<http://www.students.tut.fi/~jmikkola/hifiopas/vahvistin.html>. Hakupäivä
4.6.2013.
8. Class D Amplifiers. 2007. Maxim integrated. Saatavissa:
<http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/3977>. Hakupäivä
4.6.2013.
9. Class D Audio Amplifiers: What, Why, and How. 2006. Eric Gaalaas.
Saatavissa: http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/40-06/class_d.pdf. Hakupäivä 4.6.2013.
10. Mitä eroa on A- ja B-luokan vahvistimissa?. Saatavissa:
<http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/ABclass.pdf>. Hakupäivä 4.6.2013.

11. Wikipedia. Amplifier, Classes G and H. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Amplifier#Classes_G_and_H. Hakupäivä 4.6.2013.
12. Glass G/H amplifiers: Do they deliver on their promise of high audio quality and low power consumption?. 2010. Saatavissa: http://www.power-eetimes.com/en/class-g/h-amplifiers-do-they-deliver-on-their-promise-of-high-audio-quality-and-low-power-consumption-63.html?cmp_id=71&news_id=222901339. Hakupäivä 4.6.2013.
13. Mäkelä, Mikko – Mäkelä, Riitta – Siltanen – Olavi, 2000. Insinöörikoulutuksen fysiikka 2. Neljäs painos. Tampere: Tammertekniikka.
14. Tarkka, Pertti – Hietalahti, Lauri, 2006. Piirianalyysi 2. Helsinki: Edita Prima OY.
15. IEC/SFS 60118-4:2006. Uusi silmukkajärjestelmästandardi. OY Danalink AB. Saatavissa: <http://www.danalink.fi/datafiles/userfiles/File/Ohjeet%20pdf-tiedostot/SFSstandardit2006.pdf>. Hakupäivä 4.6.2013.
16. Texas Instruments LM48580. 2010/2013. Datasheet. Saatavissa: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm48580.pdf>. Hakupäivä 4.6.2013.
17. Texas Instruments LM48511. 2007/2013. Datasheet. Saatavissa: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm48511.pdf>. Hakupäivä 4.6.2013.
18. Texas Instruments LM3658. 2007. Datasheet. Saatavissa: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3658.pdf>. Hakupäivä 4.6.2013.
19. Texas Instruments PCM2707. 2009. Datasheet. Saatavissa: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm2707.pdf>. Hakupäivä 4.6.2013.
20. Rohm Semiconductor BU8332KV-M. 2012. Datasheet. Saatavissa: http://rohms.rohm.com/en/products/databook/datasheet/ic/audio_video/beamforming/bu8332kv-m-e.pdf. Hakupäivä 4.6.2013.

21. Analog Devices SSM2167. 2011. Datasheet. Saatavissa:
http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/SSM2167.pdf.
Hakupäivä 4.6.2013.
22. Aaltonen, Juha – Kousa, Seppo – Stor-Pellinen, Jyrki, 2002. Elektroniikan perusteet. Kolmas, korjattu painos. Limes ry.
23. Summing Amplifier. Electronics Tutorials. Saatavissa:
http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_4.html. Hakupäivä 4.6.2013.
24. Määttä, Harri 2012. Painettava teknologia. Saatavissa:
<http://www.rfidlab.fi/system/files/OAMK.pdf>. Hakupäivä 4.6.2013.
25. Bit Bang Rays to the Future. 2009. Helsinki University of Technology. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Reports/2009/isbn9789522480781.pdf>. Hakupäivä 4.6.2013.
26. Screen Printing for High-Density Flexible Electronics. 2007. Printed Circuit Design & Fab. Saatavissa: <http://pcdandf.com/cms/magazine/95/3846>. Hakupäivä 4.6.2013.
27. Material selection for screen printing. 2007. Saatavissa:
http://pcdandf.com/cms/images/stories/mag/0710/0710turunen_table1.pdf. Hakupäivä 4.6.2013.
28. Torppa, Jussi 2012. Painettujen johtimien ominaisuuksien määrittäminen. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
29. Tuotteiden konseptointi ja visiointi. Muova. Saatavissa:
http://www.muova.fi/tmp_muova_site_16.asp?sua=1&lang=1&s=37. Hakupäivä 4.6.2013.
30. Visioiva tuotekonseptointi. 2005. Teknologiateollisuus ry. Saatavissa:
http://www.it2010.fi/content/kirjat/pdf-tiedostot/Alkusivut_Visioiva_tuotekonseptointi.pdf. Hakupäivä 4.6.2013.

LIITTEET

Liite 1 Lohkokaavio

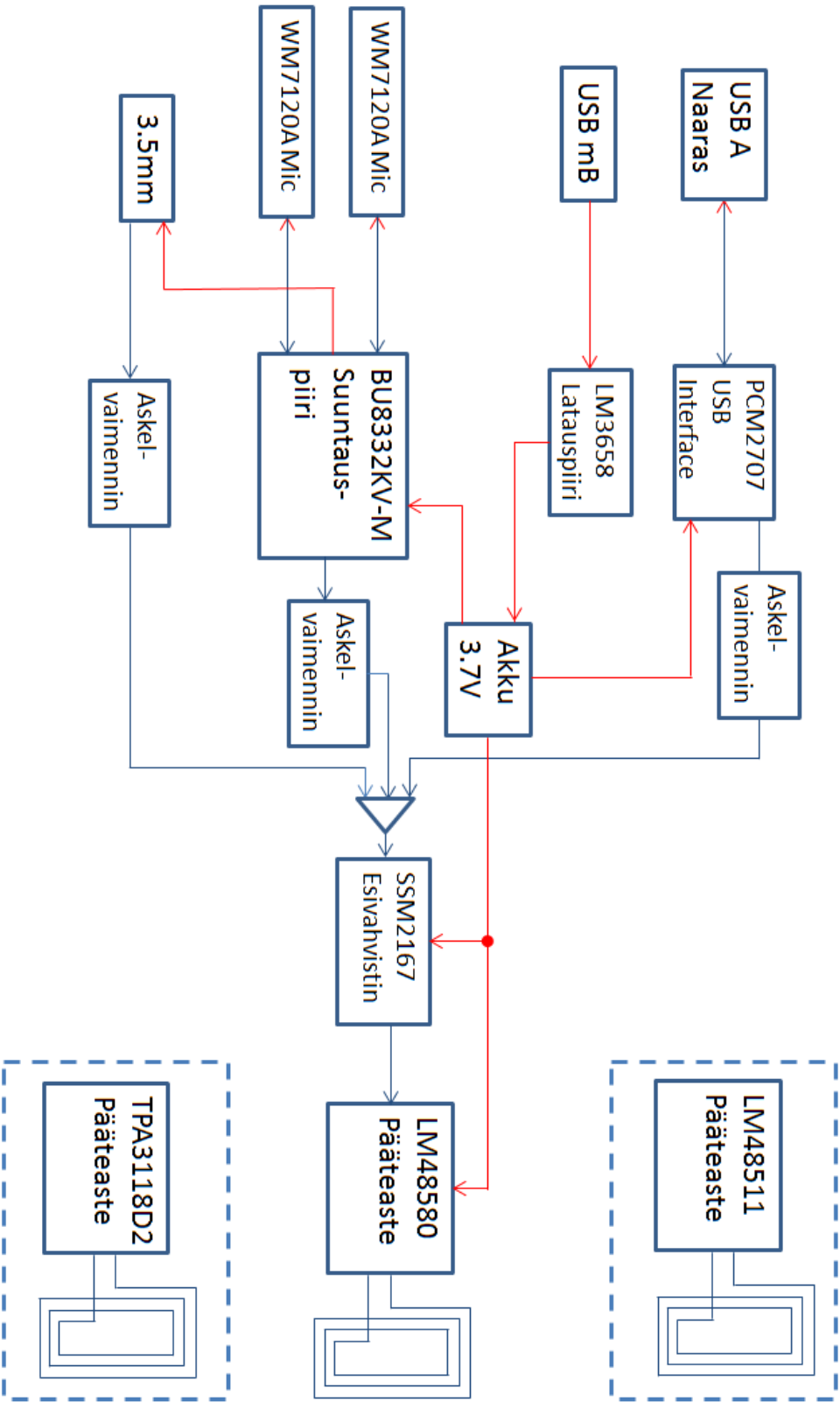
Liite 2 LM48580

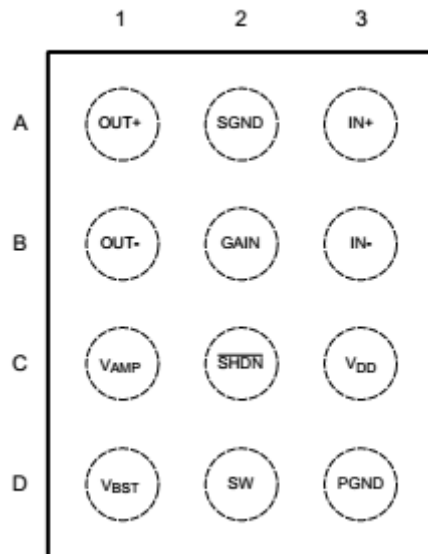
Liite 3 LM48511

Liite 4 LM3658

Liite 5 PCM2707

Liite 6 SSM2167





OUT+ (A1), OUT- (B1)

Vahvistimen ulostulo ja invertoiva ulostulo

SGND (A2)

Vahvistimen maa

IN+ (A3), IN- (B3)

Vahvistimen sisääntulo ja invertoiva sisääntulo

GAIN (B2)

Vahvistuksen määrittäminen. Kun tulo jätetään kellumaan on vahvistus 18dB. Kun tulo kytketään maihin on vahvistus 24dB ja kun tulo kytketään käyttöjännitteeseen on vahvistus 30dB.

V_{AMP} (C1)

Vahvistimen käyttöjännite, joka kytketään V_{BST} :hen

SHDN (C2)

Laitteen aktiivinen sammutus, jota voidaan ohjata laitteen ulkopuolelta. Ilman ohjausta SHDN kytketään käyttöjännitteeseen 10 k Ω ylös vetovastuksella.

V_{DD} (C3)

Laitteen käyttöjännite

V_{BST} (D1)

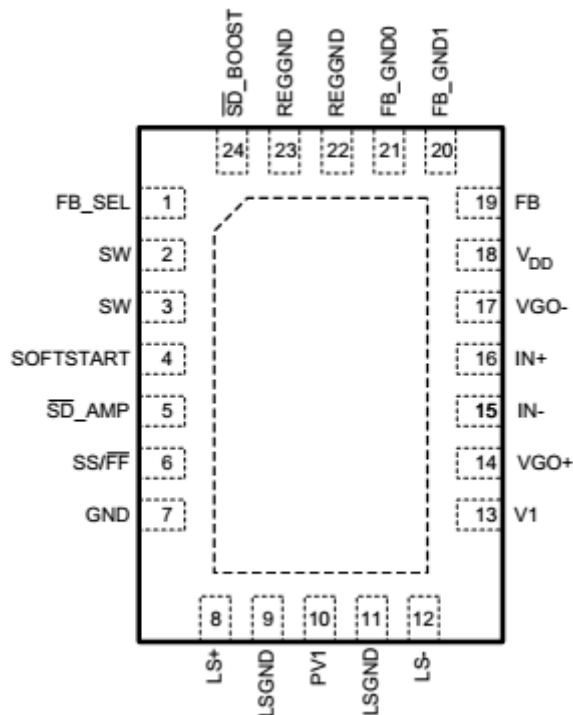
Jännitemuuntimen ulostulo

SW (D2)

Jännitemuuntimen kytkentäsolmu

PGND (D3)

Jännitemuuntimen maa



KUVA 19 LM48511 pinnijärjestys

FB_SEL (1)

FB_SEL on regulaattorin takaisinkytkennän valinta, jolla valitaan kumpaa vastusverkkoa käytetään. Kytettäessä FB_SEL käyttäjännitteeseen on käytössä FB_GND1 ja kytkettäessä maihin on käytössä FB_GND0.

SW (2, 3)

Sisäisen FET-kytkimen ulostulo

SOFTSTART (4)

Pehmeän käynnistyksen kondensaattorin kytkeminen. Rajoittaa käynnistyksen transienttivirtoja. Mitä suurempi kondensaattori sitä pienemmät transientit ja sitä hitaammin piiri käynnistyy. Valmistajan suositus on 0,1 μF (C_{SS}) kondensaattori, jolla käynnistysaika on 5,1 ms ja piikkivirta 330 mA. Kytetään kondensaattorin kautta maahan.

SD_AMP (5)

Vahvistimen aktiivinen sammutus, jolla voidaan ohjata ulkoisesti piiri päälle/pois. Ilman ohjausta SD_AMP kytketään käyttäjännitteeseen.

SS/FF (6)

Moduloinnin valinta. Kytettäessä käyttöjännitteeseen on käytössä spread spectrum mode (SS), joka hajottaa radiotaajuisen signaalin leveämmälle kaistalle ja syö sitä kautta myös hieman vahvistimen tehoja. Kytettäessä maahan on käytössä fixed frequency mode (FF). Kytetään käyttöjännitteeseen.

GND (7)

Signaalin maa.

LS+ (8), LS- (12)

Vahvistimen ulostulo ja invertoiva ulostulo.

LSGND (9, 11)

Vahvistimen H-sillan maa.

PV1 (10)

Vahvistimen H-sillan käyttöjännite. Kytetään V1:een.

V1 (13)

Vahvistimen käyttöjännite. Kytetään PV1:een.

VG0+ (14), VG0- (17)

Vahvistimen vahvistuksen ulostulo ja invertoiva ulostulo.

IN- (15), IN+ (16)

Vahvistimen sisääntulo ja invertoiva sisääntulo.

VDD (18)

Käyttöjännite.

FB (19)

Regulaattorin takaisinkytkennän sisääntulo. FB:hen kytetään ulkoinen resistiivinen jännitteen jakaja, joka nostaa ulostulevaa jännitettä.

FB_GND1 (20), FB_GND0 (21)

Maakytkentä vastuksilla R2 ja R3, vastusten jakaja.

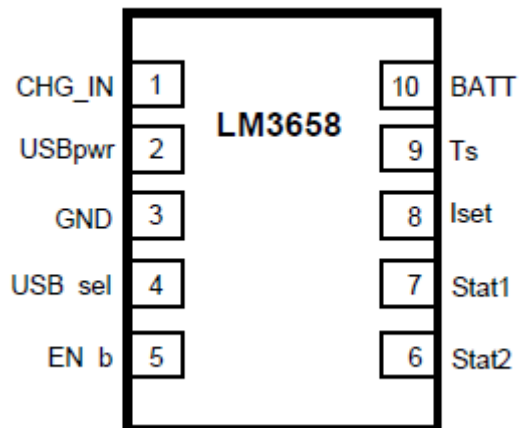
REGGND (22, 23)

Regulaattorin maa.

SD_BOOST (24)

Regulaattorin aktiivinen sammutus, jota voidaan ohjata laitteen ulkopuolelta.

Ilman ohjausta SD_BOOST kytketään käyttöjännitteeseen. Kytettäessä maihin SD_BOOST sammuttaa regulaattorin.



CHG_IN (1)

AC virtalähteen sisääntulo. Ei käytössä.

USBpwr (2)

USB-latauksen sisääntulo. Kytetään USB-liittimen Vbus-virtajohtoon.

GND (3)

Maataso.

USB_sel (4)

Valitaan maksimilatausvirta. Tulon ollessa alhaalla on latausvirta 100 mA ja kytkettäessä tulo ylös on latausvirta 500 mA. Kytetään USB-liittimen Vbus-virtajohtoon 10 kΩ vastuksen kautta.

EN_b (5)

Tulo, jolla voidaan estää lataus. Ylhäällä ollessaan tulo estää latauksen ja tulon ollessa alhaalla lataus toimii normaalisti. Kytetään suoraan maahan.

Stat2 (6), Stat1 (7)

Lähdöt, joihin kytetään ledit ilmaisemaan lataustilannetta.

Iset (8)

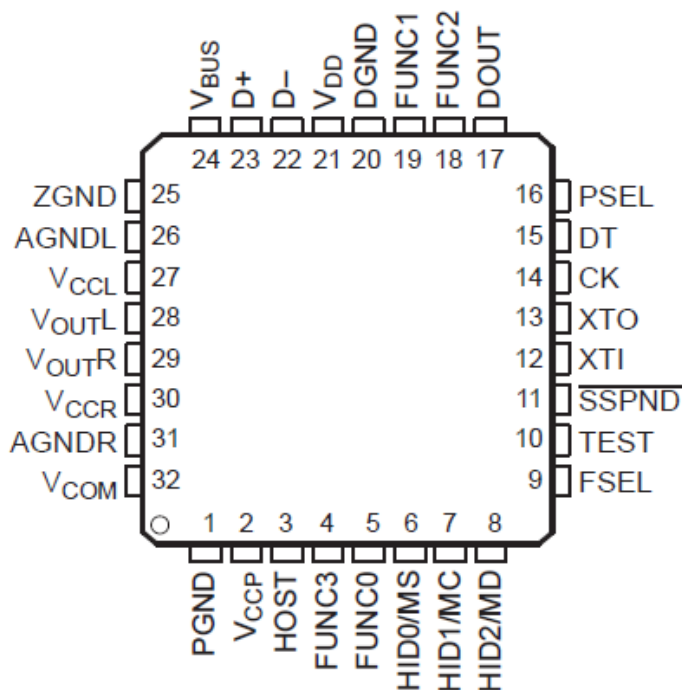
Pinni, jolla valitaan virtalähteen kautta ladatessa latausvirta. Ei käytössä, mutta kytetään suoraan maahan.

Ts (9)

Akun lämpötila-anturin tulo. Jos lämpötila-anturia ei ole kytketty, tulee Ts pinni kytkeä $10\text{k}\Omega$ vastuksen kautta maahan.

BATT (10)

Latausvirta akulle. Kytetään akun plusnapaan.



PGND (1)

Analoginen maa D/A-muuntimelle, kideoskillaattorille ja vaihelukitulle silmukalle.

VCCP (2)

Analoginen jännitelähde piirin D/A-muuntimelle, kideoskillaattorille ja vaihelukitulle silmukalle. Kytetään VDD:hen.

HOST (3)

Käyttöjännitteen tullessa piirille akulta, kytketään alasvetovastuksella USB-liittimen VBUS-pinniin, jolloin HOST havaitsee USB-laitteen liittämisen ja irrottamisen.

SSPND (11)

Keskeytys-lippu, joka osoittaa onko piiri suspend tilassa eli pysäytetty. SSPND:n ollessa alhaalla piiri on pysäytetty.

XTI (12), XTO (13)

Kideoskillaattorin sisääntulo ja ulostulo. Näiden väliin kytketään 12 MHz kideoskillaattori ja rinnalle 1 MΩ vastus ja molemmat 15 pF kondensaattorin kautta maahan.

PSEL (16)

Käyttöjänniteen valinta. Käytettäessä USB-väylästä saatavaa käyttöjännitettä, kytketään ylös. Tässä tapauksessa käyttöjännite tulee akulta, jolloin PSEL kytketään alas.

DGND (20)

Digitaalinen maa.

VDD (21)

Digitaalinen jännitelähde. Kytetään akulta tulevaan käyttöjännitteeseen.

D- (22), D+ (23)

USB-liitännän differentiaalinen datalinja.

VBUS (24)

Käytettäessä käyttöjännitettä USB-väylästä, käyttöjännite kytketään tähän.

Pöytäsilmut kytetään VDD:hen.

ZGND (25)

Sisäisen regulaattorin maa.

AGNDL (26), AGNDR (31)

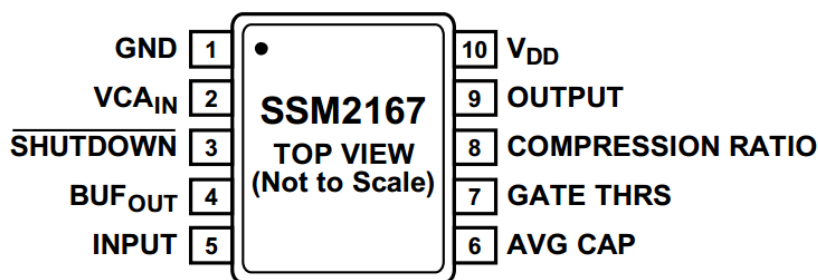
Analogisen vahvistimen vasemman ja oikean kanavan maat.

VCCL (27), VCCR (30)

Analoginen jännitelähde vahvistimelle. Kytetään VDD:hen.

VOU TL (28), VOU TR (29)

Analoginen ulostulo.



GND (1)

Maa.

VCA_{IN} (2)

Jänniteohjatun vahvistimen sisääntulo. BUF_{OUT}:n ja VCA_{in}:n väliin kytetään 4,7 µF - 10 µF kondensaattori (C2).

SHUTDOWN (3)

Mahdollistaa piirin asettamisen lepotilaan ulkoisella ohjauksella.

BUF_{OUT} (4)

Puskurin ulostulo. BUF_{OUT}:n ja VCA_{in}:n väliin kytetään 4,7–10 µF:n kondensaattori (C2).

INPUT (5)

Sisääntulevan audiosignaalin kytkentä. Tulossa oltava 0,1 µF:n suodatuskondensaattori (C1).

AVG CAP (6)

Nimellistason (True RMS) ilmaisin. Nimellistason keskiarvoistaminen hoidetaan 2 - 22 µF tasauskondensaattorilla (C_{AVG}).

GATE THRS (7)

Kohinaportin kynnystason määrittäminen. Kytetään vastuksen kautta käyttöjännitteeseen ja 3 kΩ vastuksella kynnystaso on 2 mV.

COMPRESSION RATIO (8)

Kompressointisuhteen määrittäminen. Kytetään vastuksen kautta käyttöjännitteeseen. Haluttu kompressointisuhde 2:1 saadaan vastuksen arvolla 15 kΩ.

OUTPUT (9)

Ulostuleva analoginen audiosignaali.

VDD (10)

Käyttöjännitteen sisääntulo.